

622.273.21:691.21

A 862 Z

1996-1582

MAG

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA  
KURUMU MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

PROJE NO : 607

ZONGULDAK KÖMÜR OCAKLARINDA DOLGU  
AMACIYLA KULLANILACAK EN UYGUN  
MALZEMELERİN ARAŞTIRILMASI

Proje Yürütücüsü : Prof. Dr. Tacettin ATAMAN

Yardımcı Araştırmacılar : Doç. Dr. Günhan PAŞAMEHMETOĞLU  
Dr. Gürel ŞENYUR

Mayıs 1985, ANKARA

TÜRKİYE  
BİLİMSEL VE TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU  
KÜTÜPHANESİ

**TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA  
KURUMU MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU  
PROJE NO : 607**

622.273.21 : 691.21  
A 8622

**ZONGULDAK KÖMÜR OCAKLARINDA DOLGU  
AMACIYLA KULLANILACAK EN UYGUN  
MALZEMELERİN ARAŞTIRILMASI**

Proje Yürütücüsü : Prof. Dr. Tacettin ATAMAN  
Yardımcı Araştırmacılar : Doç. Dr. Günhan PAŞAMEHMETOĞLU  
Dr. Gürel ŞENYUR

Mayıs 1985, ANKARA

14785

## ÖNSÖZ

Bu rapor, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu tarafından desteklenmiş olan MAG-607 sayılı projenin yürütülmesi sırasında elde edilen bilgi ve sonuçları içermektedir.

Son yıllarda, Zonguldak ve çevresinde görülen çöktürmeler bu alanda yeraltı imalatının doğal neticeleridir. Genellikle göçertme usulü ile çalışılan Kömür üretim bacalarında bundan böyle ramble yapılması sayesinde bu tasman olaylarını minimum ölçülere düşürmek mümkün olabilecektir. İnce ve orta kalınlıktaki damarlarda göçertme usulü yerine basınçlı hava ile (pnömatik) ramble yapmak gerekmektedir.

Bu araştırma ile en uygun dolgu malzemesinin bileşimi saptanmış bulunuyor.

Raporla ilgili çalışmalar, Zonguldak Kömür Havzasından getirilen ve ramble olarak kullanılabilen temini ucuz ve bol malzemedan hazırlanan deney malzemeleri ile O.D.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır.

Projenin yürütülmesi sırasında, özellikle malzeme temin ve naklinde yardım ve desteklerini gördüğümüz T.T.K.K. yöneticilerine teşekkürü bir borç biliriz.

Ayrıca dizayn edilen deney sisteminin kurulmasından ve deney silindirlerinin yapımında emeği geçen Atölye Őefi Ünal YAZICI ile Teknisyen Mehmet ÇAKIR'a ve Nizamettin AYDEMİR'e teŐekkürlerimizi sunarız.

Prof.Dr. Tacettin ATAMAN

## İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
ÖNSÖZ	ii
ABSTRAKT (Türkçe)	xvi
ABSTRACT (İngilizce)	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ ve AMAÇ	1
BÖLÜM 2 PNÖMATİK DOLGU	5
2.1. SİSTEMİN YAPISI ve GELİŞMESİ	5
2.2. DOLGU ve TAVAN KONTROLÜ	6
2.2.1. Ön Konverjans	7
2.2.2. Çalışma Havelerinde Oluşan Konverjans	8
2.2.3. Dolguda Oluşan Konverjans ve Tavan Kontrolü	9
BÖLÜM 3 TEK EKSENLİ KAPALI SIKIŞTIRMA	11
3.1. YÜKLEME YÖNTEMLERİ	11
3.2. TEK EKSENLİ KAPALI SIKIŞTIRMANIN ANALİZİ	12
3.3. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR- LARDAN ÖRNEKLER	19
BÖLÜM 4 DOLGU MALZEMESİ ÖZELLİKLERİ	24
BÖLÜM 5 GELİŞTİRİLEN TEK EKSENLİ KAPALI SIKIŞ- TIRMA TEST SİSTEMİ	27
5.1. SİSTEMİN ELEMANLARI	27

	<u>SAYFA</u>
5.2. DENEY HESAPLARI	33
5.3. DENEY İŞLEMİ	36
BÖLÜM 6 DOLGU MALZEMELERİ, ÖZELLİKLERİNİN BULUN-	
MASI ve YÖNTEMLER	39
6.1. GİRİŞ	39
6.2. ZONGULDAK HAVZASINDA DOLGU MALZEMESİ POTANSİYELİ	39
6.3. DOLGU MALZEMELERİNİN YAPI VE ÖZELLİKLERİNİN TESBİTİ	41
6.3.1. Yöntemler	41
6.3.2. Sonuçlar	45
6.4. SIKI DOLGU MALZEMESİ	48
BÖLÜM 7 PNÖMATİK DOLGU MALZEMELERİNİN SIKIŞABİLİRLİK DENEYLERİ	59
7.1. GİRİŞ	59
7.2. MODEL KARIŞIM İLE KONTROL TESTLERİ	59
7.2.1. Model Dolgu Karışımı ve Deney Sonuçları	59
7.2.2. Model Dolgu Karışımı ile Yapılan Deneylerin Sonuçlarının Değerlendirilmesi	70
7.3. SİSTEMATİK DOLGU KARIŞIMLARI İLE YAPILAN SIKIŞABİLİRLİK DENEYLERİ	77
7.3.1. Giriş	77
7.3.2. Yapılan Deneyler ve Sonuçlar	78
7.4. KARIŞIMLARLA YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	93

	<u>SAYFA</u>
BÖLÜM 8 GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER	105
ÖZET	113
SUMMARY	115
LİTERATÜR	117
EK-A. ÖZGÜL AĞIRLIK VE SU EMME TESTLERİ	121
EK-B. DOLGU MALZEMELERİNİN TANE BÜYÜK- LÜĞÜ DAĞILIMLARI	125

## ŞEKİLLER

	<u>SAYFA</u>
ŞEKİL 1 Dolgulu uzun ayakta konverjans (18)	8
Şekil 2 İki dolgu sıkışma eğrisi	10
Şekil 3 Granüler malzemenin çeşitli gerilme durumlarında gerilme-birim kısalma eğrileri	11
Şekil 4 Basınç gerilmesi-birim deformasyon eğrileri (Star madeni) (12)	14
Şekil 5 Dr. Jacobi tarafından verilen yük-deformasyon ilişkisi	15
Şekil 6 Sıkışma durumları ve özellikleri	17
Şekil 7 Beton agregalarının granülometrik dağılımları için sınır bölgeler (29)	22
Şekil 8 Oturmanın başlangıç birim hacim ağırlığı ile ilişkisi (10)	23
Şekil 9 Karakteristik derecelenme eğrileri (31)	24
Şekil 10 Tek eksenli kapalı sıkıştırma deney sistemi (O.D.T.Ü.Kaya Mekaniği Lab.)	28
Şekil 11 III no.lu deney silindirisinin yapısı (ölçüler mm. cinsindedir)	32
Şekil 12 Deney silindirleri	32
Şekil 13 Sıkıştırma deneyi	34
Şekil 14 İnce cidarlı silindir kesiti ve $\sigma_h$ ve $\sigma_t$ gerilmeleri.	35



	<u>SAYFA</u>
Şekil 15 Kırılmış kumtaşıdan taneler	52
Şekil 16 Kırılmış silttaşı taneleri	52
Şekil 17 Kırılmış kumtaşı tanecikleri (-100 meş ve + 200 meş arası)	53
Şekil 18 Kül tanecikleri (-100 meş ve + 270 meş arası)	53
Şekil 19 Gevşek yerleştirilmiş dolgu malzemesinde 20 µm den ince fraksiyonu miktarı ile boş- luk hacmi arasında ilişki	56
Şekil 20 Model dolgu karışım ile I no.lu silindir- de (D=10 cm) yapılan sıkışabilirlik deney- leri eğrileri	62
Şekil 21 Model dolgu karışımı ile V no.lu (D=18,5 cm) ve II no.lu (D=20 cm) silindir- lerde yapılan sıkışabilirlik deneyleri eğrileri	64
Şekil 22 Model dolgu karışımı ile III no.lu (D=31 cm) ve VI no.lu (D=30 cm) silindir- lerde yapılan sıkışabilirlik deneyleri eğrileri	66
Şekil 23 Model dolgu karışımı ile IV no.lu (D=36 cm) ve VII no.lu (D=39 cm) silin- dirlerde yapılan sıkışabilirlik deneyleri eğrileri	68
Şekil 24 Dar çaplı silindirde üst kısımda oluşan kemerleşme	71
Şekil 25 Çap artmasının yanıl deformasyon üzerine etkisi	74

- Şekil 26 3/8" altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş altı ince kırılmış silttaşı karışımları ile V no.lu silindirde yapılan sıkışabilirlik deneyleri eğrileri 80
- Şekil 27 3/4" altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş (1 mm) altı ince kırılmış silttaşı karışımları ile yapılan sıkıştırma deneylerinden elde edilen sıkışabilirlik eğrileri 83
- Şekil 28 3/4" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları ile yapılan sıkıştırma deneylerinden elde edilen sıkışabilirlik eğrileri 86
- Şekil 29 1 1/8" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları ile yapılan sıkıştırma deneylerinden elde edilen sıkışabilirlik eğrileri 89
- Şekil 30 1 1/2" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları ile yapılan sıkıştırma deneylerinden elde edilen sıkışabilirlik eğrileri 92
- Şekil 31 Dolgu malzemelerinin  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  sıkıştırma basıncında, fonksiyon parametresi  $\sigma_0$ -oturma s ilişkisi. 96
- Şekil 32 Deneyleri yapılan karışımların  $43 \mu\text{m}$  fraksiyonu ağırlıkça yüzdesi ve  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  lik sıkıştırma basıncı altında oturması, S % 100
- Şekil 33 Kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışım serilerinin  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  düşey basınç altında sıkışma, S %, değerleri 104

- Şekil B.1 3/8" altı kırılmış ocaktaşı (kumtaşı)  
örneklerinin tane büyüklüğü dağılımları  
--- 325 meş (43 µm) altı incelerin dağılı-  
lımı, Andreason Pipet ile 126
- Şekil B.2 3/8" altı kırılmış kumtaşı tane büyüklüğü  
dağılımı, regresyon analizi ile 126
- Şekil B.3 3/4" altı kırılmış ocaktaşı örneklerinin  
tane büyüklüğü dağılımları ---325 meş  
(43 µm) altı incelerin dağılımı Andreason  
Pipet ile 127
- Şekil B.4 3/4" altı kırılmış kumtaşı (ocaktaşı)  
tane büyüklüğü dağılımı, regresyon anali-  
zi ile 127
- Şekil B.5 1 1/8" altı kırılmış ocaktaşı (kumtaşı)  
örneklerinin tane büyüklüğü dağılımları  
---400 meş (37 µm) altı incelerin dağılı-  
mı, Andreason Pipet ile 128
- Şekil B.6 1 1/8" altı kırılmış kumtaşı (ocaktaşı)  
tane büyüklüğü dağılımı, regresyon anali-  
zi ile 128
- Şekil B.7 1 1/2" altı kırılmış ocaktaşı (kumtaşı)  
örneklerinin tane büyüklüğü dağılımları  
---400 meş (37 µm) altı incelerin dağılı-  
mı, Andreason Pipet ile 129
- Şekil B.8 1 1/2" altı kırılmış kumtaşının tane bü-  
yüklüğü dağılımı, regresyon analizi ile 129
- Şekil B.9 Çates külü numunelerinin tane boyu dağı-  
lımları 130

Şekil B.10	18 meş altına kırılmış silttaşı numu- nelerinin elek analizi ile tane boyu dağılımları --- 400 meş altı incelerin Andreason Pipet ile tane boyu dağılımları	130
Şekil B.11	1) Çates külünün regresyon analizi ile tane boyu dağılımı  2) 18 meş altı ince kırılmış silttaşı- nın regresyon yöntemi ile tane boyu dağılımı	131
Şekil B.12	3/8 " altı kırılmış kumtaşı ve 1 mm altı ince kırılmış silttaşı (L. artığı) ka- rışımlarının elek eğrileri	131
Şekil B.13	Karışım tane büyüklüğü dağılımı;  -3/4 " kırılmış kumtaşı, 85 % -1 mm (18 meş altı) kırılmış silttaşı, 15 %	132
Şekil B.14	Karışım tane büyüklüğü dağılımı,  -3/4 " kırılmış ocaktaşı, 70 % -1 mm (18 meş altı) ince kırılmış silttaşı, 30 %	132
Şekil B.15	Karışım tane büyüklüğü dağılımı,  -3/4 " kırılmış kumtaşı, 60 % ağırlıkça -1 mm (18 meş altı) ince kırılmış silt- taşı, 40 % ağırlıkça	133
Şekil B.16	Karışım tane büyüklüğü dağılımı,  -3/4 " kırılmış kumtaşı, 50 % ağırlıkça -1 mm (18 meş altı) ince kırılmış silt- taşı, 50 % ağırlıkça	133

Şekil B.17	Karışım tane boyu dağılımı, -3/4" kırılmış kumtaşı, 90 % ağırlıkça -Çates külü, 10 % ağırlıkça	134
Şekil B.18	Karışım tane boyu dağılımı, -3/4" kırılmış kumtaşı, 80 % ağırlıkça Çates külü, 20 % ağırlıkça	134
Şekil B 19	Karışım tane boyu dağılımı, -3/4" kırılmış kumtaşı, 70 % ağırlıkça Çates külü, 30 % ağırlıkça	135
Şekil B.20	Karışım tane boyu dağılımı, -3/4" kırılmış kumtaşı, 60 % ağırlıkça Çates külü, 40 % ağırlıkça	135
Şekil B.21	-1 1/8" kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları tane büyüklüğü dağılımları	136
Şekil B.22	-1 1/2" kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları tane büyüklüğü dağılımları	136

TABLOLAR

	<u>SAYFA</u>
Tablo 1 Çalışma hanelerinde konverjans (20)	9
Tablo 2 Deney silindirleri özellikleri	31
Tablo 3 Mahfazaları açılan numunelerin nem içerikleri	47
Tablo 4 Çeşitli kırılmış malzemenin şekil parametreleri	49-51
Tablo 5 Model dolgu karışımı ile I no.lu (D=10 cm) silindirde yapılan sıkışabilirlik deneylerine ait sonuçlar	61
Tablo 6 Model dolgu karışımı ile II no.lu (D=20.7 cm) ve V no.lu (D=19,5 cm) silindirlerde yapılan sıkışabilirlik deneylerine ait sonuçlar	63
Tablo 7 Model dolgu karışımı ile III no.lu (D=31.0 cm) ve VI no.lu (D=30.0 cm) silindirlerde yapılan sıkışabilirlik deneylerine ait sonuçlar	65
Tablo 8 Model dolgu karışımı ile IV no.lu (D=36.0 cm) ve VII no.lu (D=39 cm) silindirlerde yapılan sıkışabilirlik deneylerine ait sonuçlar	67
Tablo 9 Model dolgu sıkıştırma deneylerinde yanaltki ile ilgili sonuçlar	69
Tablo 10 Model Karışım ile yapılan sıkıştırma deneylerinde elde edilen oturmalar	76

Tablo 11	3/8" altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş (1 mm) altı ince kırılmış silttaşı karışımları ile V no.lu (D=18,5 cm) silindirde yapılan sıkışabilirlik deneyleri sonuçları	79
Tablo 12	3/4" altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş (1 mm) altı ince kırılmış silttaşı karışımları ile II no.lu (D=20.7 cm) silindirde yapılan sıkışabilirlik deneyleri sonuçları	81
Tablo 13	3/4" altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş altı ince kırılmış silttaşı karışımlarının sıkışabilirlik deneylerinde yanıl itme ve elâstik değerler	82
Tablo 14	3/4" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları ile II no.lu (D=20.7 cm) silindirde yapılan sıkışabilirlik deneyleri sonuçları	84
Tablo 15	3/4" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımlarının sıkışabilirlik deneylerinde yanıl itme ve elastik değerler	85
Tablo 16	1 1/8" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları ile III no.lu (D=31.0 cm) silindirde yapılan sıkışabilirlik deneyleri sonuçları	87
Tablo 17	1 1/8" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımlarının sıkışabilirlik deneylerinde yanıl itme ve elastik değerler	88

Tablo 18	1 1/2" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları ile IV no.lu (D=36.0 cm) silindirde yapılan sıkışabilirlik deneyleri sonuçları	90
Tablo 19	1 1/2" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımlarının sıkışabilirlik deneylerinde yanal itme ve elastik değerler	91
Tablo A.1	Özgül Ağırlık Testi Malzeme : Eksi 1 1/8" kırılmış ocak taşı (kumtaşı)	122
Tablo A.2	Özgül Ağırlık Testi Malzeme : Eksi 1 1/8" kırılmış lavuar artığı (Silttaşı)	123
Tablo A.3.a	Özgül Ağırlık Testi Malzeme : Çates Külü	124
Tablo A.3.b	Yaklaşık Su Emme Yüzdesi (A) Malzeme : Çates Külü	124



## ABSTRAKT

Bu araştırma, Zonguldak Havzasında oluşmakta olan tasman hasarlarının en aza dūřürölmesi için en uygun ramble etüdü amacına yönelik olarak, uygun ramble olabilecek malzemeden alınan numunelerden hazırlanan dolgu maddeleri ile laboratuvarında yapılmıştır.

Hazırlanan dolgu malzemeleri, geliştirilen tek eksenli kapalı sıkıştırma sisteminde sıkıştırılmış ve dūřey sıkıştırma gerilmesi altında malzemenin oturması ve silindirin çevresel birim deformasyonu deney esnasında ölçölen unsurlar olmuşlardır. Malzemenin fiziksel özellikleri mevcut standartlara göre bulunmuştur.

Bu raporda deney verileri ve bulgular açıklanmış, varılan sonuçlar verilmiştir. Maden İşletmeciliği ve daha ileri araştırmalar için öneriler yapılmıştır.

## ABSTRACT

This research was directed mainly towards the study of the development of an optimum filling material to reduce the subsidence damage in Zonguldak Collieries as much as possible and the tests were done in laboratory with the filling models prepared from representative samples of material available for stowing in Zonguldak Coal Field.

The prepared filling materials have been tested in developed one-dimensional confined compression system and the material subsidence and circumferential strain on cylinder under vertical compressive stress have been factors measured during experiment. The physical properties of materials have been determined according to the existing standards.

The measurements taken and the results found are explained and conclusions are drawn. Some suggestions are made for mining practice and further research.

## 1. GİRİŞ ve AMAÇ

Ereğli taş kömürü havzamızda tasman problemi üretimi kısıtlamaktadır. Meskün arazinin yüzde 52'si tasman hasarlarına açıktır<sup>(1)</sup>. İşletmenin hedefi üretimi yılda 8 Milyon ton tüvenan taş kömürü seviyesine çıkarmaktır. Bağlık Projesi, kıyı şeridi boyunca meskün arazi altında 80 Milyon ton taş kömürü rezervinin işletilmesini kapsamakta, Kozlu Projesi ise, 70 milyon ton rezervin alınması için Site olarak isimlendirilmiş meskün bölgenin altına uzanmaktadır<sup>(2)</sup>. Ayrıca derin seviyelere inildikçe sıcaklık ve metan gazı emisyonu artmaktadır. Bütün bu koşullar gözönüne alınırsa uygun bir rambie (dolgu) sisteminin zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Batı Almanya Taş Kömürü İşletmesinin Ölçüm İşleri Bölümünün yaptığı ocak işi ölçmelerinde, ön konverjans ile ayaktaki konverjansın damar kalınlığının yüzde 12-15'i kadar olduğu saptanmıştır. Tasmanın geri kalan yüzde 25-30 luk kısmı kat dolgu yapılan ayak arkasında, dolgu boşlukları ve dolgu malzemesinin az sıklığından ileri geldiği saptanmıştır<sup>(3)</sup>.

Bu nedenle yüksek modüllü (kompak, az sıkışır malzeme) dolgunun önemi büyüktür ve aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- Çok yoğun yerleşme bölgeleri altında özellikle, yüksek binalar, tüneller, demir yolu, kara yolu, köprü, kanal gibi yapıtların tasmana karşı korunmasında, sıkı dolgu tasman hasarını önemli ölçüde azaltmakta ve yerüstü yüzeyinin çökmesini işletilen damar kalınlığının % 40'nın altına düşürmektedir. Halbuki, bu miktar, göçertme ile çalıştırılan alanlarda % 90'a ve daha sonra % 100'e ulaşmaktadır.

- Az sıkışan malzeme erken yük almaya başlamakta ve tavan yükünün büyük bir kısmını taşımaktadır. Sonuçta, komşu topuklardaki dinamik basınç birikimi azalmakta ve topuk stabilitesi artmaktadır<sup>(4)</sup>.

Ramblenin yük taşıma özelliğini geliştirmek için bazı yöntemler vardır. En çok kullanılan üç yöntem şunlardır:

- Optimum tane boyu dağılımına sahip malzeme modeli ile yerinde dolgu içinde taneler arası boşluk en aza indirilebilir.

-Yerinde dolgu malzemesinin rölatif sıklığı vibrasyon (dolguya titreşim verme) ile artırılabilir<sup>(5)</sup>.

- Lavuar artıkları içeren dolgu malzemesi içine bir miktar Portland çimentosu katarak yük taşıma ve mukavemet özelliği artırılabilir<sup>(3), (6), (7), (8)</sup>.

Bu yöntemler içinde maliyet ve etki yönünden en uygunu optimum tane boyu dağılımına sahip dolgu malzemesi etüdüdür.

Bu araştırmanın amacı Zonguldak Havzamız için tasman hasarının en aza indirilmesinde etken olabilecek ocak taşı, santral külü, lavuar artığı gibi bol, ucuz ve alınması kolay malzemelerden tane boyu dağılımı en uygun, sıkı dolgu modeli etüdü yapmak ve sıkışabilirlik testleri geliştirmektir. Kırılmış ocaktaşı (kumtaşı) çok ince kırılmış lavuar artığı (silttaşı) veya santral külü ile karıştırılmış ve sıkı malzeme karışımları elde etme amacı güdülmüştür.

Sıkışabilirlik testleri için tek eksenli kapalı sıkıştırma (one-dimensional compression) modeli seçilmiştir. Bunun nedeni, Corson ve Wayment tarafından ocakta dolgu içinde yapılan yük-deformasyon ölçmelerinde elde edilen yük-deformasyon ilişkilerine tamamıyla uymasıdır.

Dolgu modellerinin tek eksenli sıkıştırma deneylerinde davranışlarını karşılaştırabilmek için deney başlangıçlarında aynı koşullarda olmaları gerekir. Dolgu modelleri ile en gevşek (rölatif sıklıkları sıfır) yani en az yoğun durumlarında testlere başlanılmıştır. Çünkü granüler malzeminin sıkışabilirliği başlangıç sıklığı ile ilgilidir (10), (11), (12). Dolgu malzemelerinin nem içerikleri kuru sayılabilecek kadar düşüktür. Böylelikle bütün deney modelleri kuru bazına göre

Yapılmıştır. Gerilme-birim deformasyon eğrisinin ki bu eğriye Jacobi dolgu karakteristik eğrisi demektir, niteliğinin yükleme hızına tabi olmadığı tarafımızdan yapılan deney ile izlenmiş isede, bütün deneylerde yaklaşık aynı yükleme hızı takip edilmiştir (0.01 mm oturma/saniye)<sup>(13)</sup>. Tek eksenli sıkıştırma deneyleri esnasında malzemenin silindirik kabın cidarına yaptığı yanal itki de incelenmeye çalışılmıştır.

Malzeminin sıkışma davranışı ana konu olmakla birlikte bir dolgu sistemi dolgu malzemesinin birçok özellikleri ile ilgili karmaşık bir niteliğe sahip olduğu için, model malzemelerin tane boyu dağılımları, tane biçimleri, tane özgül ağırlıkları, birim hacim ağırlıkları gibi özellikleri de ayrıca ele alınmıştır.

## 2. PNÖMATİK DOLGU

### 2.1. SİSTEMİN YAPISI VE GELİŞMESİ

Pnömatik dolgu ilk defa Batı Almanya'da Gewerkschaft ocağında 1924 tarihinde denenmiştir<sup>(14)</sup>. Geçen zaman içinde sistem geliştirilmiş ve Belçika, Fransa gibi diğer Avrupa ülkelerinde geniş uygulama alanı bulmuştur.

Pnömatik dolgu masrafı bir ton tüvenon kömür üretimine 2.5 U.S doları olabilir<sup>(15)</sup>. Dr. Fettweiss, Almanya'da Aachen havzasında yaptığı araştırmada Pnömatik dolgunun göçertme yöntemine göre bir ton tüvenan kömür üretimine yüzde 20-30 arasında fazla maliyet getirdiğini izlemiştir<sup>(16)</sup>.

Bugün için, dolgu yöntemi, artan taş kömürü gereksinimi, tasman ve ocak emniyeti yönlerinden getirdiği çözümlerle ek masrafını karşılamakta ve daha geniş uygulama kazanmaktadır.

Pnömatik dolgu kalınlığı 1.5 m - 5.0 m. ve dalımı 0 ilâ 50 derece arasında değişen damarlarda uygulanabilir. Ancak en randımanlı kullanımı dalım 0-30 derece ve kalınlığı 2-3 m. olan damarlarda ve mekanize ayak ve yürüyen tahkimat ile birlikte uygulanmasıdır<sup>(17)</sup>.

Pnömatik dolgu sisteminde belli bir boyutun altındaki dolgu malzemesi ocak içinde basınçlı hava ile (1.5 -2.8 kgf/cm<sup>2</sup>)

bir boru şebekesinden dolgu yapılacak çalışma yerine gönderilir.

Bir pnömatik dolgu devresi iki bölüm halinde düşünülebilir;

1) Yerüstü ve ocak içinde hazırlanan dolgu malzemesinin pnömatik dolgu makinesine gelişi,

2) Pnömatik dolgu makinasına gelen dolgu malzemesinin ayak arkasındaki dolacak boşluğa kadar nakli.

Basıncılı hava sarfiyatı dolgu malzemesinin biçim ve büyüklüğüne, boru hattı şebekesinin geometrisine ve işletme randımanına göre değişir. Bugünkü koşullarda  $100 \text{ m}^3$  üflenen hava/ $1 \text{ m}^3$  dolgu malzemesi randımanlı çalışmayı gösterir.

Pnömatik dolguda kullanılan dolgu malzemelerinin boyutları 0-100 mm. arasında değişmektedir. İri taneler, taşıma esnasında hava sarfiyatını artırır. Boruda tıkanıklığı önlemek için maksimum iri tane boyu boru çapının 1/3 ünü aşmamalıdır.

## 2.2 DOLGU VE TAVAN KONTROLÜ

Uzun ayak olarak isimlendirilen üretim sisteminde tavan tabakalarının kendi statik ağırlıkları ile inmesi, tabanın yukarıya doğru kabarması hareketlerinin toplamına kon-



verjans denir. Kelime anlamı, tavan ve taban tabakalarının birbirine yaklaşmasıdır.

Tasman, konverjans olayının birikmiş toplamını ifade eder<sup>(18)</sup>.

Herhangi bir arkası doldurulmuş ayakta toplam konverjans, yatık S harfinin parçalarını oluşturan üç tip konverjansın toplamına eşittir (Şekil 1).

Toplam Konverjans = Ön konverjans + Çalışma havelerinde  
Konverjans + Arka Konverjans

Şekil 1'de görüldüğü üzere;

a = Ön konverjans

b =  $b_1 + b_2$  = Çalışma havelerinde konverjans

$b_1$  = Tavan inmesi

$b_2$  = Taban kabarması

t = Dolgunun oturmasından oluşan arka konverjans

"d" damar kalınlığı cinsinden,

Dolgunun ilk kalınlığı =  $d[1 - (a + b_1 + b_2)]$  .(1)

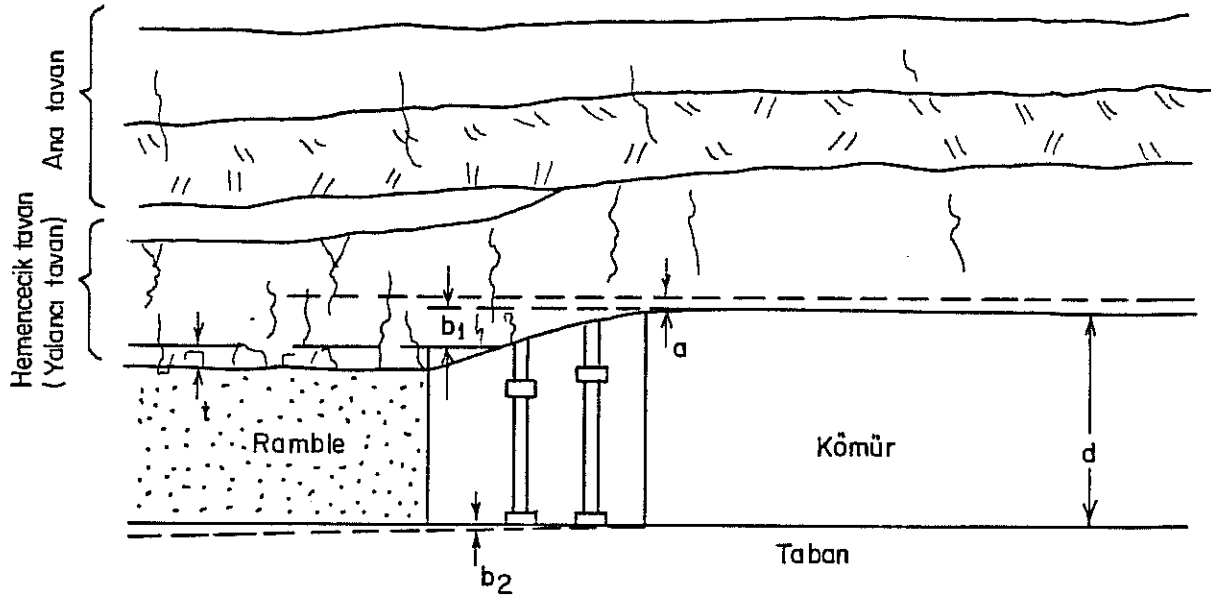
t =  $S_1 \times d [1 - (a_1 + b_1 + b_2)]$  ....(2)

$S_1$  = H derinliğinde dolgu oturması, %

### 2.2.1 Ön Konverjans

Şekil 1 deki ön konverjans "a" değeri, tavan taşına derinliğe ve kömürün basınç dayanımına göre değişir. Damar

kalınlığının yüzde 2-3 ü civarında oluşur<sup>(4), (19)</sup>.



Şekil 1. Dolgulu uzun ayakta konverjans<sup>(18)</sup>.

### 2.2.2 Çalışma Havelerinde Oluşan Konverjans:

Çalışma havelerinde oluşan konverjans büyük oranda kullanılan tahkimat türüne ve tekniğine, olan ilerleme hızına bağlıdır. Ayak içi tahkimat sistemlerine göre çalışma havelerinde oluőabilecek konverjanslar damar kalınlığı "d,, cinsinden kısaca ifade edilebilirler<sup>(20)</sup>.

Tablo 1. Çalışma havelerinde konverjans (20) .

Ayak tahkimat şekli	Çalışma havelerinde oluşan konverjans (% d)
Domuz damı-ağaç direk sarma alına paralel	16-20
Münferit sürtünmeli ayarlı demir direk-çelik sarma	12-14
Münferit hidrolik demir direk-çelik sarma	10-12
Yürüyen tahkimat	7-8

### 2.2.3 Dolğuda Oluşan Konverjans ve Tavan Kontrolü

Ön konverjans ve çalışma havelerinde oluşan konverjans ile ilk damar kalınlığına göre bir miktar azalan tavan-taban açıklığı dolgu malzemesi ile tutulmaya çalışılır. Az sıkışabilir bir dolgu (ramble) malzemesinin  $200 \text{ kgf/cm}^2$  (H= 800 m. derinlik) basınç altında sıkışması ilk kalınlığının % 15 ile % 20'si arasındadır. Burada tavan kabarması çok az olup ihmal edilebilir<sup>(3)</sup>. Görülüyorki, nihai tasman değerinde ramble malzemesinin sıkışması en az havelerdeki tahkimat şekli kadar önemlidir.

Şekil 2'de iki tane tek eksenli dolgu sıkışma eğri-  
leri görülmektedir; 1 numaralı eğri az sıkışabilir, 2 numara-  
lı eğri ise daha çok sıkışabilen dolgu malzemelerine aittir.  
Bir dolgunun yük alması deformasyon modülleri ile orantılı-  
dır<sup>(21)</sup>.  $\epsilon = 0.12$  birim deformasyonuna tekabül eden modül-  
ler sırası ile;

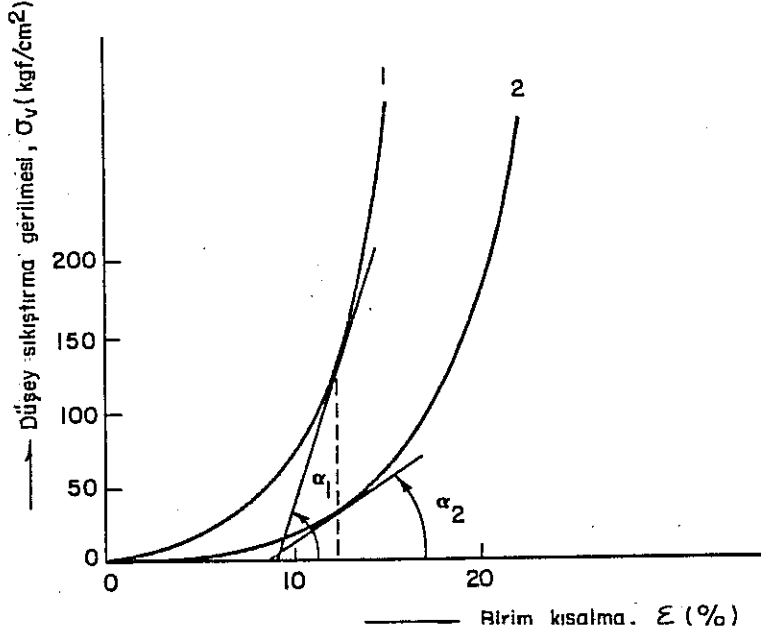
$$(D_m)_1 = \tan \alpha_1$$

$$(D_m)_2 = \tan \alpha_2$$

Burada,  $(D_m)_1$  : 1 numaralı dolgu modülü

$(D_m)_2$  : 2 numaralı dolgu modülü

şekilden  $(D_m)_1$  değerinin  $(D_m)_2$  değerinden çok büyük olduğu  
görülmektedir. Az sıkışabilir bir malzeme kısa bir sıkışma



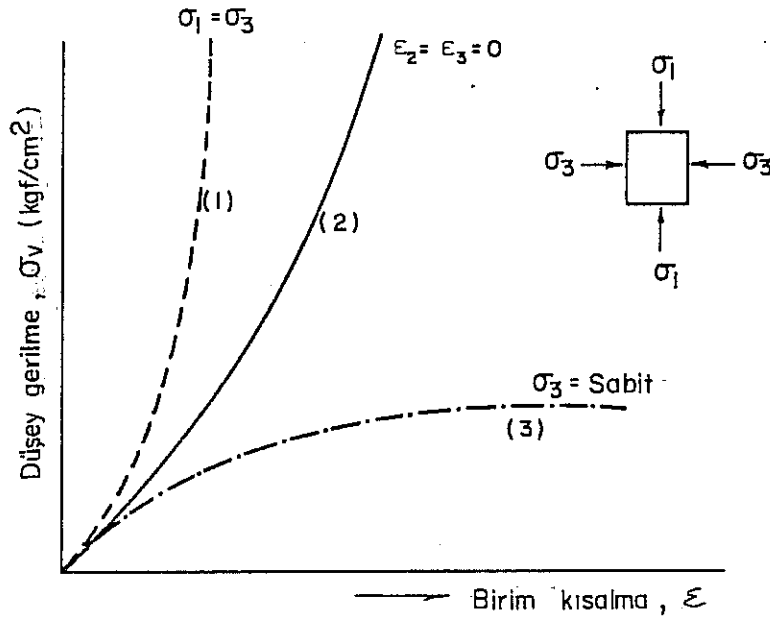
Şekil 2. İki dolgu sıkışma eğrisi

değerinden sonra çok fazla yük taşımaya başlayacaktır ki,  
topuk stabilitesi yönünden çok önemli bir sonuçtur.

### 3. TEK EKSENLİ KAPALI SIKIŞTIRMA

#### 3.1 YÜKLEME YÖNTEMLERİ

Üretim panosuna etkiyen gerilme şartı dolgu malzemesinin gerilme-şekil değiştirme özelliğini ve taşıma gücünü belirler. Şekil 3'de çeşitli gerilme şartları için elde edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramları görülmektedir<sup>(22)</sup> Şekilde (3) eğrisi malzemenin hidrostatik gerilme şartı altındaki ( $\sigma_1 = \sigma_3$ ) şekil değiştirme davranışını göstermektedir. Bu tür gerilme ortamı derin üretim panolarında gözlenir (2) eğrisi, artan düşey gerilme altında yanıl gerilme şiddetinin yan gerilmeyi sıfır yapacak şekilde ( $\epsilon_{\text{yanıl}} = 0$ ) dolguyu etkime durumuna aittir. Zemin mekaniğinde bu tür gerilme koşuluna tek eksenli kapalı yükleme (one-dimensional confined compression)



Şekil 3. Granüler malzemenin çeşitli gerilme durumlarında gerilme-birim kısalma eğrileri.

denir. (3) eğrisi ise, normal üç eksenli gerilme haline karşı gelmektedir

Daha önceki araştırmacılar, genellikle madencilik çalışmalarının yeraldığı bölgelerde, yanıl deformasyonun sıfır olduğu tek eksenli yükleme (one-dimensional confined compression) modelinin ocak dolgusunun sıkışmasına uyduğunu bulmuşlardır<sup>(4), (23)</sup>.

### 3.2 TEK EKSENLİ KAPALI SIKIŞTIRMANIN ANALİZİ

Tek eksenli sıkıştırımda üzerine yük yüklenen malzeme yanıl etki yapmaktadır. Düşey basınç gerilmesi  $\sigma_v$ , yanıl basınç gerilmesi  $\sigma_h$  olarak gösterilirse, yanıl deformasyon  $\epsilon_h = 0$  koşulunu sağlayan ilişki;

$$\sigma_h = \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_v \quad (3)$$

olarak verilmektedir<sup>(24)</sup>.

Burada,  $\mu$  Poisson Oranı olup,  $\mu =$  yanıl birim deformasyon/düşey birim deformasyon olarak tarif edilir.

Ayrıca,

$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad (4)$$

ilişkisinde,  $K_0$  yanıl basınç oranı olarak verilmektedir<sup>(24)</sup>.

Tek eksenli kapalı sıkıştırma eğrisi artan basınç gerilmesine karşı düşey birim deformasyon değerlerinin mey-

dana getirdiği eğridir. Bu eğri dolgunun yük/deformasyon özelliğini gösterir. Dolgunun yük taşıma özelliğini göstermek üzere, teğet modülü ve sekant modülü verilmektedir<sup>(23)</sup>. Teğet modülü, gerilme birim deformasyon eğrisinde belli bir noktadan çizilen teğetin eğimidir. Sekant modülü, gerilme-birim deformasyon eğrisinin iki ayrı noktasını birleştiren doğrunun eğimidir<sup>(24)</sup>.

Literatürde, gerilme-birim deformasyon ilişkisini ifade eden bağıntılar verilmiştir. Yerinde dolgu içinde yapılan ölçmelerde ve alınan dolgu numuneleri ile veya hazırlanan dolgu modelleri ile laboratuvarıda yapılan birçok deneylerde gerilme-birim deformasyon eğrileri doğrusal olmayan (non-linear) karakter göstermektedir (şekil 4).

Pariseu, sonlu elemanlar proğramı ile dolgu üzerinde tavan kapanması ve basınç değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki yaklaşımı kullanmıştır<sup>(21)</sup>.

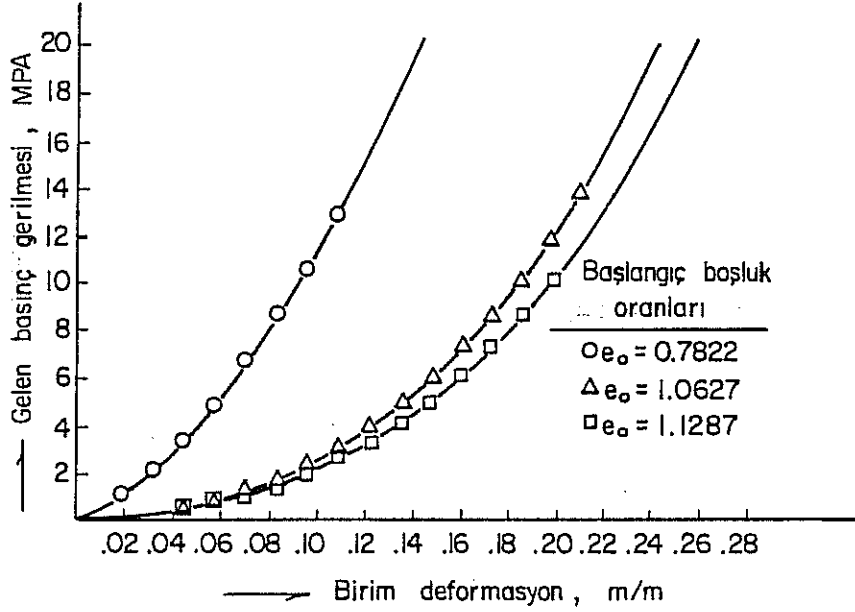
$$\sigma = a \epsilon + b\epsilon^2 \quad (5)$$

Burada,

$\sigma$  : Basınç gerilmesi

$\epsilon$  : Birim deformasyon

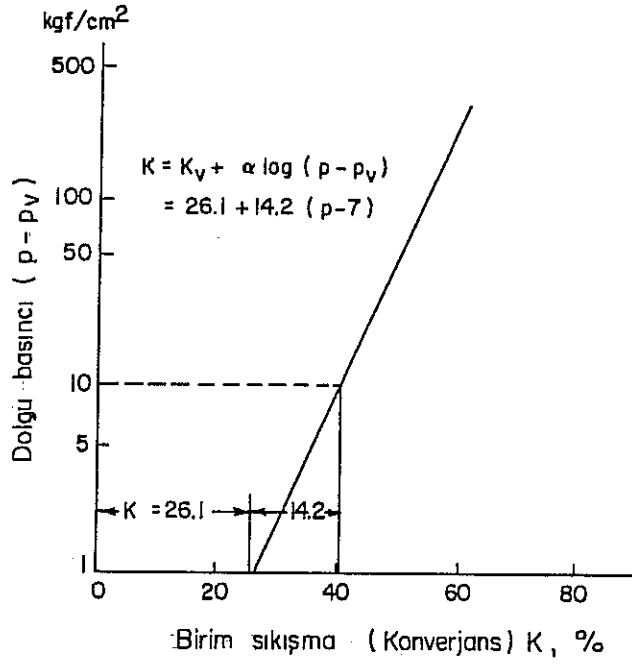
a,b: Sabiteler



Şekil 4. Basınç gerilmesi-birim deformasyon eğrileri  
(Star madeni) (12).

Dr. Jacobi, Neumühl ocağında dolgu içinde yaptığı basınç ve konverjans ölçmelerinde, basınç-konverjans ilişkisini yarı logaritmik ölçekte (dolgu basıncı logaritmik, konverjans aritmetik ölçekte) iki safhada vermiştir<sup>(25)</sup>. Birinci safha, tanelerin rölatif hareketleri ile kayıp yer değiştirmeleri ve oturmaları olup ön-sıkışma (initial compression) olarak adlandırılmaktadır. İkinci safha, oturan malzemenin yük taşıma kapasitesi kazanıp ilişkisinin sabit bir eğimle (sabit deformasyon modülü) yükselmesidir. (Şekil 5). Şekilde dolgu basıncı (Fill load) dolgunun üze-





Şekil 5. Dr. Jacobi tarafından verilen yük deformasyon ilişkisi.

rine binen tavan yükü anlamındadır.

İlişki;

$$K = K_v + \alpha \log (p - p_v) \quad (6)$$

denklemleri ile verilmektedir.

Burada,

K : Konverjans

$K_v$ :  $p_v$  basıncına kadar malzemenin ön sıkışması (konverjans)

$\alpha$  : Yarı logaritmik ölçekteki basınç-konverjans doğrusunun eğimi.

Liberman ve Khaimova-Mal'kova, dolgu malzemeleri için gerilme-birim deformasyon ilişkisini,

$$\epsilon = n_A \left[ 1 - e^{-\left(\frac{\sigma_v}{\sigma_0}\right)^N} \right] \quad (7)$$

olarak vermiştir.

Burada,

$\epsilon$  : Birim deformasyon (S % oturma)

$n_A$  : Dolgu başlangıç boşlu hacmi (%)

$\sigma_v$  : Uygulanan basınç gerilmesi (kgf/cm<sup>2</sup>, Mpa, v.b.)

$N$  : Bir sabite olup malzemenin özelliklerine göre,  
 $0 \leq N \leq 1$  dir.

$\sigma_0$  : Bir sabite olup, birimi  $\sigma_v$ 'nin birimine bağlı olarak kgf/cm<sup>2</sup>, Mpa, v.b. olarak verilir.

Buraya kadar yük-deformasyon ilişkileri verilmiştir. Alman araştırmacıları özellikle pnömatik dolgu ülkelerinde çok kullanılan bir yöntem olduğundan dolgunun sıkışmasını belirleyen ifadeler geliştirmişlerdir. T.Döring, sıklık derecesi  $d'$  yi şöyle tanımlıyor (10).

$$d' = \frac{\gamma_f}{\gamma_s} \quad (8)$$

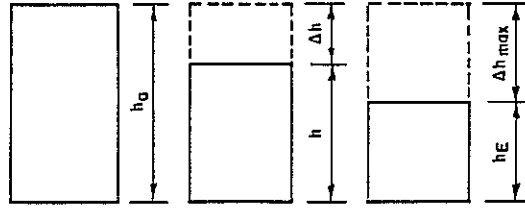
Burada,  $\gamma_f$  dolgunun herhangi bir konumda birim hacim ağırlığıdır (gr/cm<sup>3</sup>).

Sıkışmanın başlangıçtaki sıklık derecesi Kegel'e göre  $d'_A$  olarak tanımlanır:

$$d'_A = \frac{(\gamma_f)_A}{\gamma_s} \quad (9)$$

Burada,  $(\gamma_f)_A$  sıkışma öncesi dolgu birim hacim ağırlığıdır.

$\gamma_s$  : Her iki eşitlikte (6,7) dolguyu teşkil eden katı malzemenin birim hacim ağırlığı olmaktadır.



Oturma	$S_A = 0$	S	$S_E$
Birim hacim ağırlığı $(\gamma_f)_A$		$\gamma_f$	$\gamma_s$
Sıkılık derecesi $d'_A$		$d'$	$d'_E = 1$
Boşluk hacmi oranı $n_A$		n	$n_E = 0$

Şekil 6. Sıkışma durumları ve özellikleri

Şekil 6.'da sıkışmanın ilk, son ve herhangi bir safhasında ilgili üç değerinin değişimi görülmektedir.

Dr. Helms, oturma sıkılığı (lagerungsdichte)  $D'$  yi şöyle vermektedir<sup>(20)</sup>:

$$D' = \frac{n_{\max}^{-n} - n}{n_{\max}^{-n} - n_{\min}^{-n}} \quad (10)$$

Burada,

$$n_{\max} = \text{En gevşek durumda boşluk hacmi oranı} \\ (\text{boşluk hacmi/toplam hacim})$$

$$n_{\min} = \text{En sıkı durumda boşluk hacmi oranı}$$

En gevşek durumdaki boşluk hacmi oranı yerine başlangıç boşluk hacmi oranı,  $n_A$ , konur ve teorik maksimum sıkılaşma durumunda boşluk hacminin sıfır olacağı varsayılırsa, biraz değişikliğe uğramış oturma sıklığı  $D'$  elde edilir.

$$D' = 1 - \frac{n}{n_A} \quad (11)$$

sıkılaşma olayı akışı içinde,  $D'$

$$0 \leq D' \leq 1 \quad (12)$$

olarak değişir.

Sıklık derecesi  $d'$  ve oturma sıklığı,  $D'$  bir sıkılaşmanın ne kadar ilerlediğini gösterir.

Eşitlik 6 ve 7 den:

$$D' = \frac{d' - d_A'}{1 - d_A'} \quad (13)$$

elde edilir.

Sıkılaşma esnasında bir hacim daralması ve ilgili olarak dolgu yüksekliğinde bir küçülme  $\Delta h$  ortaya çıkar.

Bu değer, başlangıç yüksekliği  $h_A$  ya oranlanır ve oturma (s) olarak tanımlanır:

$$S = \Delta h/h_a \quad (14)$$

### 3.3. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR DAN ÖRNEKLER

Daha önceki araştırmacıların yaptıkları çalışmalar, kullanılan tek eksenli kapalı sıkıştırma deney yöntemleri ve dolgu malzemelerinin sıkışma özellikleri olmak üzere iki açıdan incelenebilir.

a) Kullanılan tek eksenli kapalı sıkıştırma yöntemleri:

Maden işletmeciliğinde kullanılan dolgu malzemeleri için geliştirilmiş bir standard yöntem mevcut değildir.

Dr. Whetton ve Dr. Sinha tarafından geliőtirlen tek eksenli kapalı sıkıştırma deneyleri South Yorkshire (İngiltere) bölgesinde kullanılan dolgu malzemeleri üzerine yapılmıştır<sup>(27)</sup>. Malzemenin içinde sıkıőtırıldıęı silindirik kab, 8" çapında ve 9 1/2" yüksekliğindedir. Nikel-krom çeliğinden yapılmıőt olup yaklaşık 1" cidar kalınlığına sahiptir. Kalın bir yükleme diski ile 100 ton düşey yük değerine kadar yükselen sıkıştırma yapılmıştır. Deneyler, düşey yük altında malzemenin düşey birim sıkışmasını vermekte fakat yanal itki incelenmemektedir.

Dr. Helms, havada kurutulmuş lavuar artıkları üzerinde (Ruhr Bölgesi),  $200 \text{ kgf/cm}^2$  ye kadar yüklemeler yapmıştır. Malzeme, en gevşek durumda 135 mm çaplı ve sağlam cidarlı bir çelik boru içine gönderilmiş ve bir basınç pistonu ile  $20 \text{ Mpa}$  ( $200 \text{ kgf/cm}^2$ )lık basınca kadar sıkıştırılmıştır. Piston yolu ve basınç yükü sürekli elektronik ölçülmüş ve kaydedilmiştir<sup>(20)</sup>. Sıkıştırılan malzemeler değişik tane boyunda ve tane boyu dağılımındadır. Gerek çelik boru çapı ve sıkıştırılan malzeme tane iriliği arasında ilişki ve gerekse malzemenin yanıl itkisi ve sıkışma esnasında mekanik özelliklerindeki (Poisson oranı) gelişme değinilmeyen konular olarak kalmıştır.

Nicholson ve Busch tarafından U.S.B.M. geliştirme programı çerçevesinde yürütölen çalışmalar bu konuda en detaylı yaklaşımı vermektedir<sup>(23)</sup>. Dolgu malzemesi, üç eksenli basınç hücresinde, ince cidarlı bir kasnak içinde bulunmaktadır, ve kasnağın üzerine birim deformasyon ölçerler (strain-gauges) yapıştırılmıştır. Kasnağın yanıl deformasyonu,  $\epsilon_{\text{yanıl}} = 0$  olacak şekilde yanıl itki kasnağın dışından hidrolik olarak sağlanmıştır. Böylece, düşey sıkıştırma basıncı ve bu basınç altında gelişen yanıl itki kaydedilmiştir. Sıkıştırmada, en büyük problem kab cidarı ile dolgu malzemesi arasında gelişen sürtünme olarak verilmekte ve çap ne kadar genişlerse, etkinin o kadar azalacağı belirtilmektedir.

Keren L. ve Kainian S., ince taneli malzeme üzerine yaptıkları çalışmada sıkıştırma silindirinin çapı (D) ve dolgu yüksekliği (H) arasında kriter kurmuşlardır<sup>(28)</sup>. Eğer,  $H/D > 1.3-1.5$  ise düşey basınç parabolü oluşmakta ve düşey basınç dolgu malzemesi ve silindir cidarındaki sürtünme bölgesinde yoğunlaşmaktadır.  $H/D < 1.3-1.5$  ise, düşey basınç üniform olarak dağılım göstermektedir.

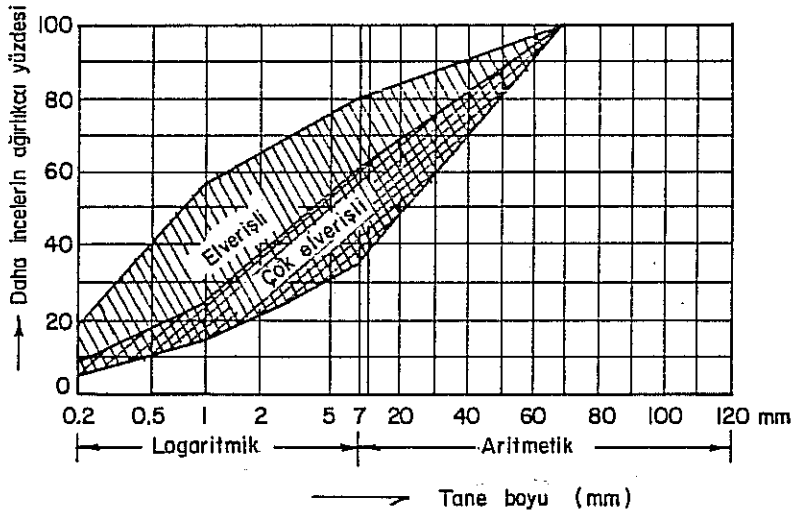
b) Dolgu malzemelerinin sıkışma özellikleri:

Daha önceki araştırmacıların ocaklarda kullanılan pnömattik dolgu malzemeleri üzerine yaptıkları araştırmalardan malzemelerin sıkışma özellikleri ile ilgili elde ettikleri sonuçlardan örnekler verilebilir.

Dr. Benthous, lavuar artıkları ve kırılmış pasa üzerinde çalışmış ve malzemenin sıkışma özelliğini kontrol eden en önemli faktörünün malzemenin tane boyu dağılımı olduğunu vurgulamıştır<sup>(29)</sup>. Yük taşıma yeteneği yönünden daha çok pasa (ocaktaşı) dolgusu üzerinde durmaktadır. Ancak iri taneleri fazla dolgunun boşlukları iyi doldurmadığını ve fazla sıkıştığını izlemiştir. Kırılmış pasa malzemesine ince malzeme miktarı fazla lavuar artığı karıştırılması ile elde edilen harmanlanmış dolgunun daha iyi taşıma yeteneği kazandığını görmüştür. Benthous, sıkı dolgunun tane boyu dağılımı için sıkı agrega malzemesinde kullanılan Fuller denklemini önermektedir. Fuller denklemi 18 eşitliğinde,  $m = 0.5$  olan

bir Talbot denklemidir. Daha sonra,  $m$  değerinin malzemenin cinsine göre değiştiğini belirtmiştir. Benthous daha sonra pratik çözüm olarak tane boyu dağılımına beton agregaları için kabul edilen elverişli bölgeleri vermektedir (Şekil 7).

D.F. Coates ve Y.S. Yu. bir dolgunun tane boyu dağılımını geliştirerek (to modify=geliştirme) yerinde birim hacim ağırlığının değiştirilebileceğini belirtiyorlar<sup>(30)</sup>. Cevher zenginleştirme tesis artıkları içine ince kum karıştırarak tane boyu dağılımı daha uygun bir dolgu (modified fill) elde etmişlerdir. Harmanlanmış dolgu az boşluk içeren yoğun dolgu olmaktadır.



Şekil 7. Beton agregalarının granülometrik dağılımları için sınır bölgeler<sup>(29)</sup>.

Dr. Helms, havada kurutulmuş lavuar artıkları üzerinde (Ruhr Bölgesi)  $200 \text{ kgf/cm}^2$  değerine kadar basınç yüklemeye

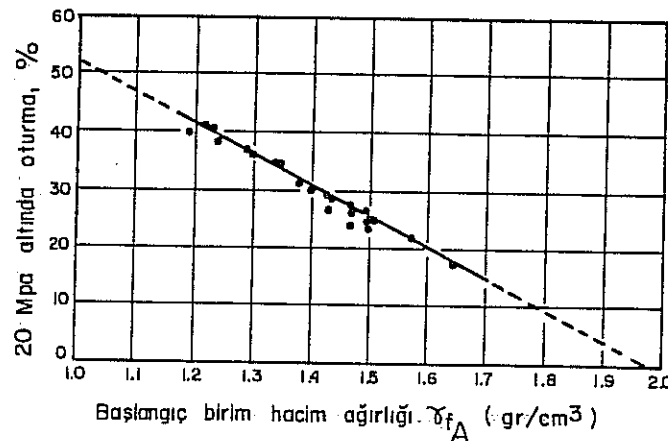


lerinde, malzemenin sıkılaştırma davranışını orjinal tane boyu dağılımına ve doldurma anındaki birim hacim ağırlığına bağlı olarak denedi<sup>(10)</sup>. Elemeye tane boyu, -4 mm; 4 mm -8 mm; 8mm -16 mm; 16 mm-31.5 mm olan fraksiyonlar kazanıldı. Bunlardan yapay karışımlar elde edildi, ve 20 Mpa (200 kgf/cm<sup>2</sup>) lik basınca kadar sıkıştırıldı. Sıkıştırıldıktan sonra malzeme gevşetildi ve elek analizine tabi tutuldu. 16 mm-31.8 mm arası fraksiyonun en düşük başlangıç birim hacim ağırlığına sahip olduğu ve en çok sıkışma (oturma) gösterdiği, buna karşılık % 50 (-4 mm) ve % 50 (16 mm-31.5 mm) karışımının en yüksek başlangıç birim hacim ağırlığına (1.60 grm/cm<sup>2</sup>) sahip olduğu ve en az sıkışma gösterdiği izlenmiştir. Sonuçlar iri taneli fraksiyon içinde ince taneli fraksiyonun ara boşlukları doldurma ve yüksek birim hacim ağırlığı ve az oturma niteliğini göstermektedir.

Dr. Helms. 20 Mpa lık yüklemde erişilen oturma  $S_{20}$  ile başlangıç dolgu birim hacim ağırlığı  $(\gamma_f)_A$  arasında doğrusal bir bağlantı buldu.

$$S_{20} = -(0.53) (\gamma_f)_A + 1.06 \quad (15)$$

(Korelasyon katsayısı,  $r= 0.07$ ) (Şekil 8)

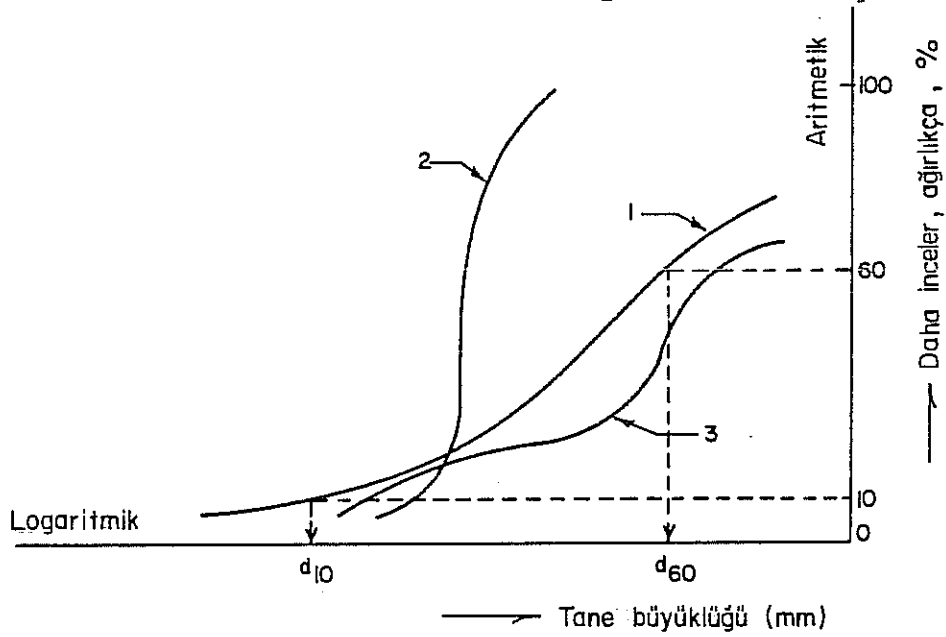


Şekil 8. Oturmanın başlangıç birim hacim ağırlığı ile ilişkisi

#### 4. DOLGU MALZEMESİ ÖZELLİKLERİ

Dolgu malzemesinin özgül ağırlığı, birim hacim ağırlığı v.s. gibi fiziksel özelliklerinin tarif ve tesbitinde kullanılan standartlar 6 cı bölümde verilmiştir.

Konu ile yakından ilgili olması nedeniyle malzemenin tane boyu dağılımı özelliklerine kısaca değinmekte yarar vardır. Şekil 9. da üç ana karakterdeki dağılım türleri görülmektedir<sup>(31)</sup>. Granüler malzemelerin mekaniğinde dağılım özelliklerini belirlemek üzere katsayılar verilmiştir.



1. İyi derecelenmiş dağılım 2. Uniform derecelenme 3. Kesikli derecelenme.

Şekil 9. Karakteristik derecelenme eğrileri<sup>(31)</sup>.

Coates ve Yu, granülometrik dağılımın derecelerini ifade eden uniformluk katsayısını " $C_u$ " ve derecelenme katsayı-

sını " $C_c$ " vermektedir<sup>(30)</sup>.

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (16)$$

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{(d_{60})(d_{10})} \quad (17)$$

Burada, " $C_u$ " uriformluk katsayısını, " $C_c$ " ise derecelenme katsayısını vermektedir ve  $d_{60}$ ,  $d_{30}$ ,  $d_{20}$  sırasıyle malzemenin % 60, % 30 ve % 10 nun ağırlık yüzdelerine karş gelen tane çaplarını ifade etmektedir. Ayrıca " $d_{10}$ " efektif tane çapı olarak bilinmektedir.  $C_u$  büyüklüğü, bir anlamda granülometrik dağılımın dikliğini açıklamaktadır. Yani, büyüklüğün bire yakın bir değer alması malzemenin az çok aynı boyutta tanelerden oluştuğunu (üniform derecelenme) gösterir (Şekil 9). Birden büyük değerinin artması malzemenin çeşitli boyutlu tanelerden oluştuğunu ve iyi derecelenmeye doğru gittiğini gösterir. Bu ise, birim hacim ağırlık ve sıklıkta artışı getirir, çünkü iri tanelerin arasını dolduran küçük taneler mevcuttur.

Ancak, dolgu malzemeleri gibi çakıl boyutundan çok ince kum ve kil boyutuna kadar değişen marjda taneler içeren granüler malzemeler için derecelenme durumlarını açıklayıcı  $C_u$  ve  $C_c$  değerleri verilmemiştir.

Literatürde daha kuramsal bir yaklaşımla iyi derecelenmiş sıkı malzemenin tane boyu dağılımı Talbot denklemi

ile verilmektedir, Tablot ve Richard tarafından teklif edilen ideal karışım granülometrisi,

$$S = 100 \left( \frac{d}{d_{\max}} \right)^m \quad (18)$$

şeklindedir<sup>(30)</sup>. Burada, S, d(mm) açıklığındaki elekten geçen malzemenin yüzde miktarı,  $d_{\max}$  bileşimindeki en yüksek tane büyüklüğü (mm), m sabite olup, Coates ve Yu tarafından m değeri 0.4-0.5 arasında verilmektedir<sup>(30)</sup>. Bu denkleme göre dağılım, iki tarafı logaritmik ölçekli olarak çizilirse eğimi "m" olan bir doğru çıkar.

## 5. GELİŞTİRİLEN TEK EKSENLİ KAPALI SIKIŞTIRMA TEST SİSTEMİ

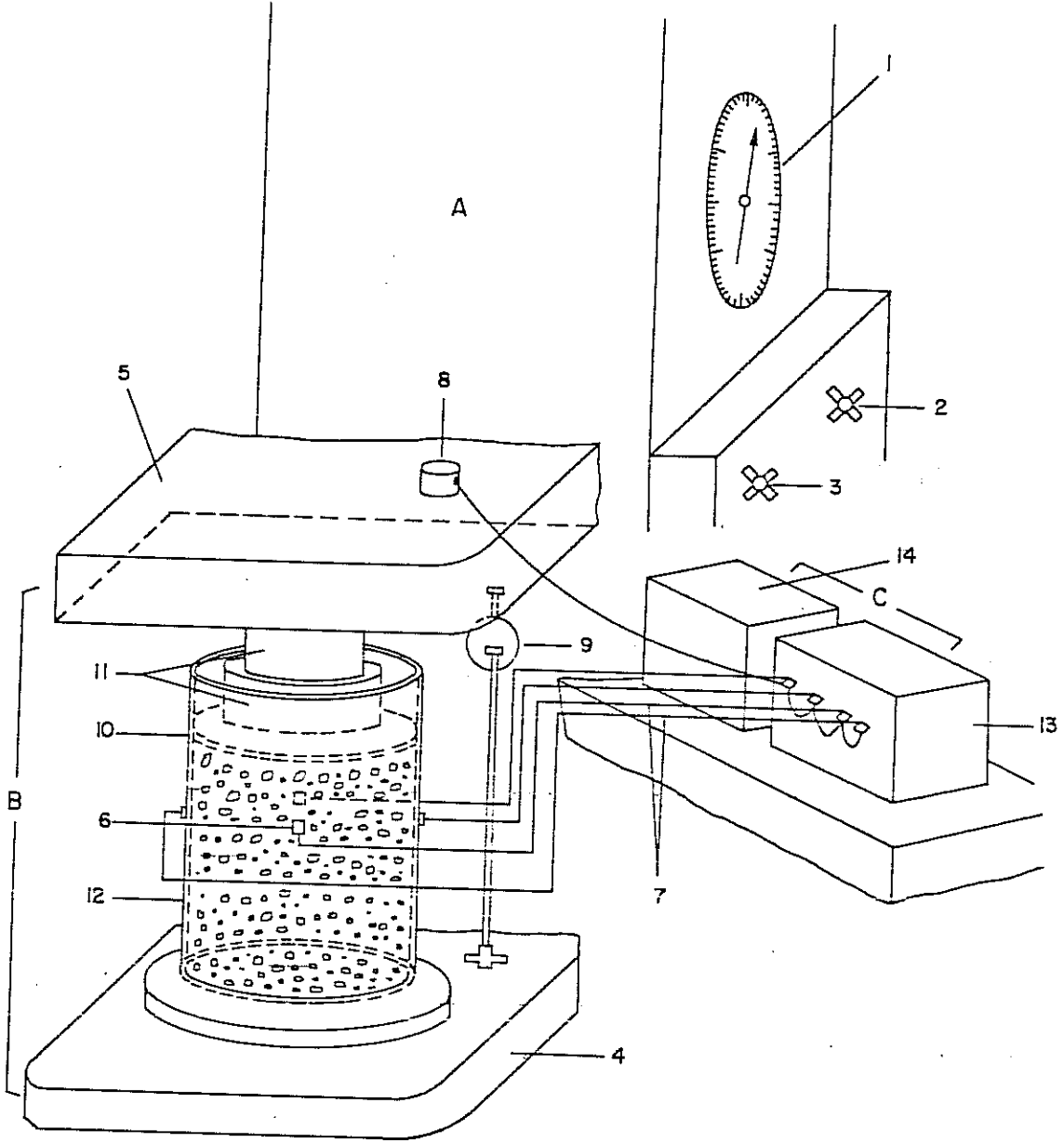
Daha önce belirtildiği gibi, dolgu malzemeleri için geliştirilmiş standard bir test yöntemi mevcut değildir. Ancak, önceki çalışmalarda uygulanan yöntemlerden esinlenerek basit, düşey ve yanal yük-birim deformasyon ilişkilerini kayıt edici bir sistem geliştirilmiştir.

Sistem toplu halde Şikil 10 da görülmektedir. Sıkıştırma yükü, hidrolik press ile temin edilmektedir. Yükleme ile meydana gelen sıkışma deformasyonu presin alt ve üst tablaları arasına yerleştirilen mekanik deformasyon ölçer ile tablaların yaklaşım olarak ölçülmektedir. Düşey yük altında malzemenin yanal etkisi ince cidarlı silindir teorisinden yararlanılarak bulunmuştur.

### 5.1. SİSTEMİN ELEMANLARI

#### a) Hidrolik Press

Tinius Olsen Super "L", Universal Hidrolik Test makinesi kullanılmıştır. Super "L", tipi makinelerin 400 D modelidir. Selectrange kontrol sistemi ile üç yük marjı içerisinde çalışılabilir. Bu yük marjları ve yuvarlak gösterge kadramında en küçük bölüntü (division) aşağıda verilmiştir.



A : Presin kontrol ve okuma ünitesi B. Presin sıkıştırma ünitesi C. Elektrikli birim deformasyon ölçerlerin bağlantı ve okuma ünitesi, 1. Yük gösterge kadranı, 2. Yükleme kolu, 3. Yük boşaltma kolu, 4. Yükleme alt tablası, 5. Üst tabla 6. Elektrikli birim deformasyon ölçer (strain gauge) 7. Bağlantı kabloları, 8. Dami, 9. Mekanik birim deformasyon ölçer (dial gauge), 10. B askı diskisi, 11. Besleme diskleri, 12. İçinde dolgu malzemesi bulunan deney silindiri, 13. Bağlantı ve denge kutusu 14. Birim deformasyon gösterge sistemi kutusu.

Şekil 10. Tek eksenli kapalı sıkıştırma deney sistemi  
(O.D.T.Ü.Kaya Mekaniği Lab.)

Yük Marjı	En küçük bölüntü
0-4000 kg	25 kg
0-40 000 kg	250 kg
0-200 000 kg	1250 kg

0 ile  $3 \frac{1}{2}$ " /dakika arasında değişen yükleme hızı uygulanabilir. Yükleme, piston üzerine monte edilmiş alt tablanın yukarı doğru hareketi ile yapılmaktadır. Yük ölçü sistemi hassasiyeti herbir bölüntünün  $1/2$  sidir.

#### b) Birim-deformasyon Ölçerler

Mekanik tip deformasyon ölçerler (Dial gauges):

E.L.E. (Engineering Laboratory Equipment) firmasınınca imâl edilen mekanik deformasyon ölçerler düşey deformasyon ölçmek için kullanılmıştır. Kullanılan ölçerler 0.01 mm. mertebesinde okuma vermektedir.

Elektrikli birim deformasyon ölçerler (strain gauges):

Silindirin dış gövdesine yapıştırılan bu ölçerler ince cidarlı silindirlerde çevresel birim deformasyon ölçmeleri için kullanılmıştır. Japon Kyowa firmasınının KP-6-A1-11 tipi ölçerleri kullanılmıştır. Basit bir rezistans köprüsü olan ölçerlerdeki deformasyon telden geçen akım şiddetini etkilemekte ve gösterge kutusu kanalıyla en küçük  $10^{-6}$  mertebesinde okuma ile birim deformasyon olarak ve rakamsal verilmektedir.

c) Elektrikli birim deformasyon gösterge sistemi

İki birimden müteşekkildir. Birinci birim, model 225 bağlantı ve denge kutusudur. 10 adet birim deformasyon ölçer terminali bağlanabilir. İkinci birim, birinci birime bağlı model 120/120 C birim deformasyon gösterge kutusudur. Rakamsal olarak birim deformasyon (inç/inç) okunur.

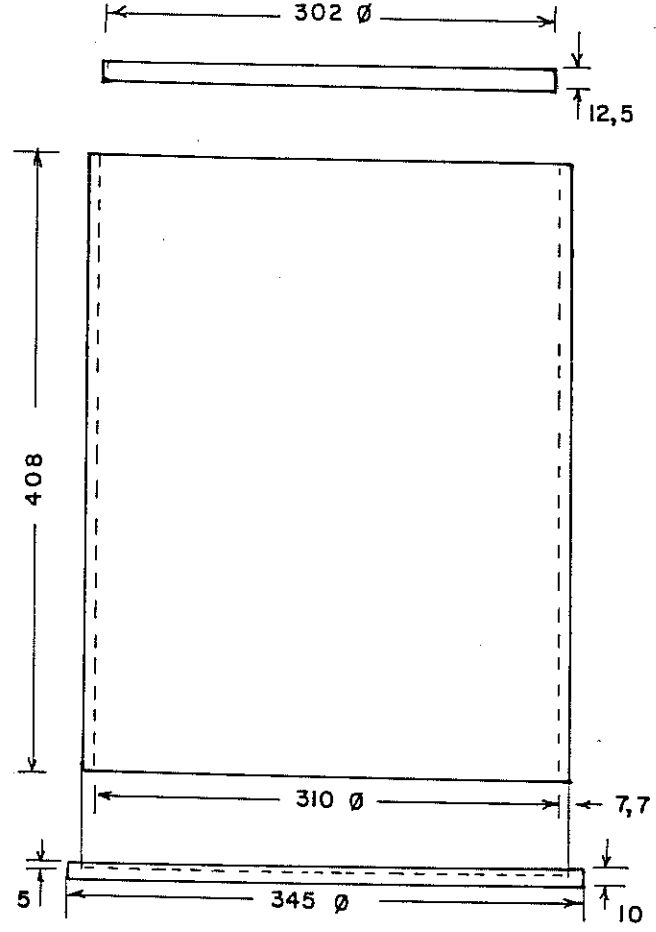
d) Deney silindirleri

Deney silindirleri D= 10 cm den D= 40 cm çapına kadar değişen muhtelif çaplarda imâl edilmiştir. Deney silindirleri, yükleme diski, 0.5 cm civarında cidar kalınlığı ve yaklaşık 41 cm yüksekliği olan silindirik gövde, gövdenin oturduğu altlıktan oluşmuştur. Bir kısmında altlık gövdeye monte edilmiştir. Tablo 2 de deneylerde kullanılan silindirlerin özellikleri verilmektedir. Şekil 11 de ise, III no.lu silindirin yapısı örnek olarak verilmiştir. Silindirlerin toplu halde fotoğrafı Şekil 12. de verilmektedir. Silindirlerin imâl edildikleri malzeme dikişsiz çekme borulardır. Önemli olan konu, silindirin yanal cidar gerilmesi ( $\sigma_t$ ) ile meydana gelen çevresel genişleme deformasyonunun ( $\epsilon$ ) orantılılık sınırı içinde kalmasıdır. Deney silindirinin gövdesinden çevre boyunca çıkartılan iki adet numune, O.D.T.Ü. malzeme laboratuvarında çekme deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler,  $3500 \text{ kgf/cm}^2$  değerlerini aşan gerilmeye kadar doğrusal elastik davranış gösteriyorlar. Bu çeliğin elâstik modülü ( $E_\sigma$ ) olarak  $E_\sigma = 2150000 \text{ kgf/cm}^2$  alınmıştır.

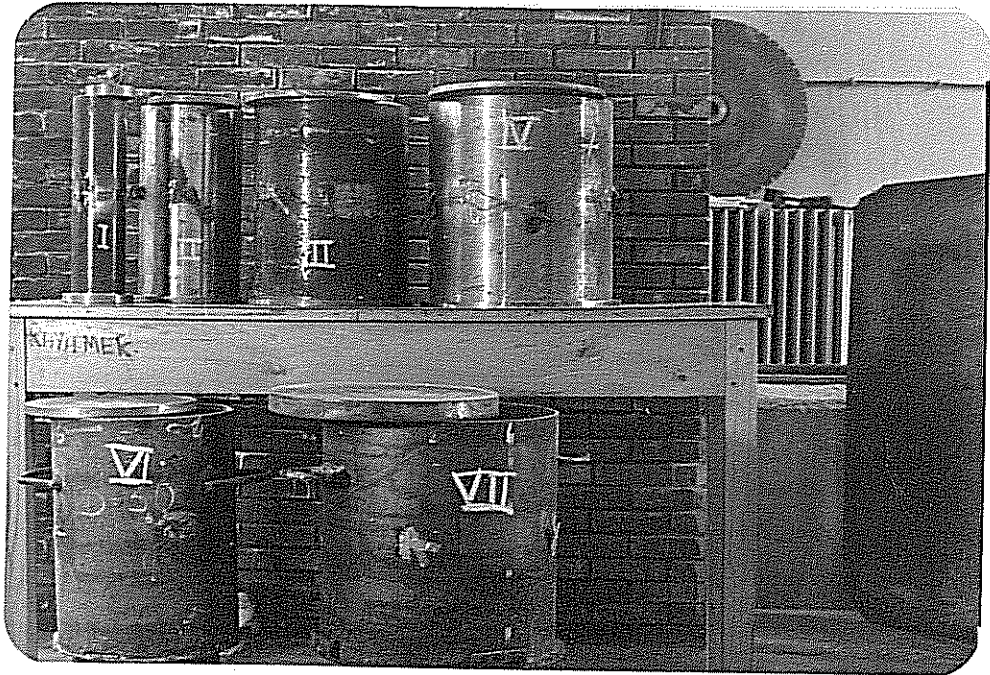


Tablo 2. Deney Silindirleri Özellikleri

Silindir No	I	II	III	IV	V	VI	VII
Silindir iç yüksekliği, cm,	40.2	41.0	40.8	40.8	37.5	39.5	39.5
Silindir iç çapı, D cm	10.0	20.7	31.0	36.0	18.5	30.0	39.0
Silindir cidar kalınlığı, t, cm.	0.47	0.55	0.77	0.7	0.5	0.5	0.5
Yükleme diski kalınlığı, cm	1.35	1.35	1.25	1.15	1.0	1.6	1.6
Yükleme diski çapı, cm	9.5	20.0	30.2	35.0	18.2	29.25	38.4
Yükleme diski alanı A, cm <sup>2</sup>	70.9	314.16	716.3	962.1	260.0	671.9	1158.0
Silindir iç hacmi, V <sub>c</sub> , cm <sup>3</sup>	3157	13798	30794	41529	10080	28274	47784
Silindir kapaksız boş ağırlığı, W <sub>c</sub> , kg.	7.238	19.550	28.520	33.760	10.180	17.750	24.500



Şekil 11. III. nolu deney silindirinin yapısı (ölçüler mm. cinsindedir)



Şekil 12. Deney Silindirleri.

e) Diğer malzeme

Deneylerde kullanılan diğer aksam, mekanik birim deformasyon ölçerlerin takıldığı uzantı ve çubuklar, bunların bağlantı tertibatı, yükleme diski üzerine yerleştirilen besleme diskleri, küresel yükleme başlığı olarak sayılabilir. Küresel yükleme başlığı, yuvasında serbestçe hareket edebilme kabiliyetine sahip olduğu için, dolgu üzerindeki diskin durumuna göre konumlaşmakta ve yükün disk üzerinde eşit ve uniform yayılmasını sağlamaktadır.

## 5.2 DENEY HESAPLARI

Şekil 13. de deney şematik olarak gösterilmektedir.

Yükleme öncesi baskı diskinin silindir içinde üstten ortalama derinliği  $h_{ort}$  ise;  
silindirdeki dolgu malzemesi yüksekliği  $h_d$  (mm),

$$h_d = h_s - (h_{ort} + t_k) \quad (19)$$

Burada,

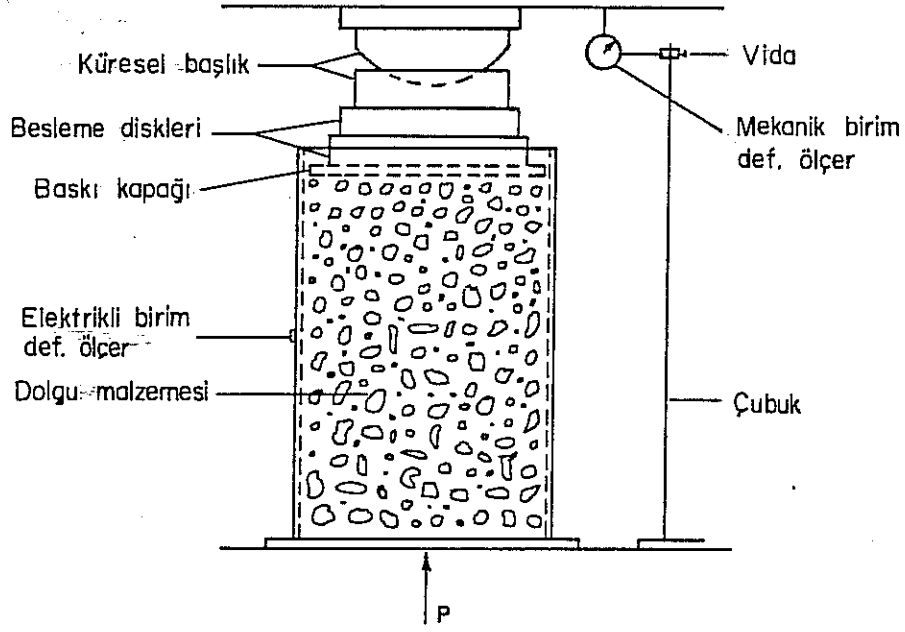
$h_s$  : Silindir içten yüksekliği, mm

$t_k$  : Baskı kapağı kalınlığı, mm

Yük  $P=0$  değerinden herhangi bir  $P=P_i$  yüküne ulaşıncaya kadar dolgu malzemesinin oturması,  $\Delta h$  (mm) ise; dolgudaki yüzde oturma veya birim deformasyon,  $S$ ,

$$S (\%) = \frac{\Delta h}{h_d} \times 100 \quad (20)$$

olarak bulunur, burada  $h_d$ , yüklemeye başlamadan önce dolgunun silindir içindeki yüksekliğidir.



Şekil 13. Sıkıştırma Deneyi.

Düşey eksenel basınç gerilmesi,  $\sigma_v$  (kgf/cm<sup>2</sup>)

$$\sigma_v = \frac{P}{A} \quad (21)$$

Burada,

P: Düşey yük (kg)

A: Baskı diskinin alanı (cm<sup>2</sup>)

Kapalı bir yerde bir dolgu malzemesi içinde düşey yük altında (üstündeki arazi dolgu üzerine çökünce) oluşan yatay basıncın laboratuvar deneyleri ile bulunması orjinalidir. İnce cidarlı silindirin dışında orta kısmına yapıştırılan deformasyon ölçerleri (strain gauges), silindirin çevresindeki elâstiki birim deformasyonu ( $\epsilon$ ) verirler. Silindirin içindeki yanal itme basıncının cidarda yaptığı çekme gerilmesine

$\sigma_t$  (kgf/cm<sup>2</sup>) denirse,

$$\sigma_t = E_{\zeta} \cdot \epsilon \quad (22)$$

Burada,  $E_{\zeta}$  çeliğin elâstik mdldr (kgf/cm<sup>2</sup>).

Diğer taraftan, Nash, ince cidarlı bir silindirde aŖağıdaki iliŖkileri vermiŖtir<sup>(32)</sup>.

$$\sigma_h \cdot D = 2 \sigma_t \cdot t$$

veya

$$\sigma_h = \frac{2 \cdot \sigma_t \cdot t}{D} \quad (23)$$

Burada,

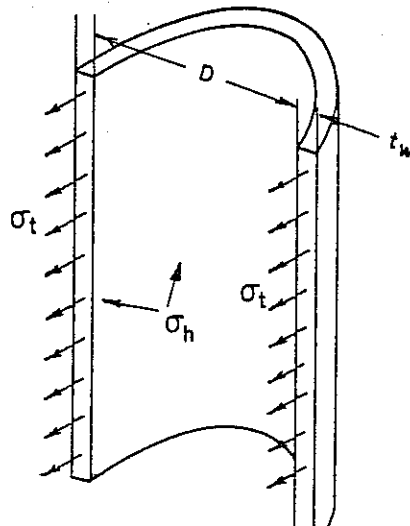
$\sigma_h$  : Dolgu malzemesi içinde oluŖan yatay basıncı, kgf/cm<sup>2</sup>

$\sigma_t$  : İçi dolgu malzemesi ile dolu silindir cidarında oluŖan çevresel çekme gerilmesi, kgf/cm<sup>2</sup>

$t$  : Silindir cidarı kalınlığı, cm

$D$  : İnce cidarlı silindirin i çapı, cm

Ŗekil 14 ilgili açıklamayı vermektedir.



Ŗekil 14. İnce cidarlı silindir kesiti ve  $\sigma_h$  ve  $\sigma_t$  gerilmeleri.

Buradaki yanal itki,  $\sigma_h$ , anlamı, statik yer basıncı altında yanal deformasyonun olmadığı ( $\epsilon_{\text{yanal}} = 0$ ) basınç durumunda dolğunun yanal itkisidir. Zemin mekaniğinde bu duruma "K<sub>0</sub>" durumu denir. Gerçi laboratuvarında yapılan kapalı sıkıştırma testlerinde, silindirde çevresel birim deformasyon,  $\epsilon$ , 0 ile  $1 \times 10^{-3}$  arasında değişen değerler almaktadır ki, ihmal edilebilir ve  $\epsilon = 0$  yaklaşımında bulunulabilir. İhmal edilebilecek düzeydeki çevresel deformasyon, yanal itki,  $\sigma_h$  değeri bulunmasında fonksiyonel işlev görmektedir.

### 5.3. DENEY İŞLEMİ

Deneyin yapılmasında aşağıdaki işlemler sırasıyla takip edilir.

a) Boş deney silindiri presin alt tablası üzerine iç içe merkez dairelerine göre ortalanarak yerleştirilir. Elektrikli birim deformasyon ölçerlerin uçları bağlantı kutusu terminallerine sıra ile bağlanır.

b) Dolgu malzemesi iyice karıştırılarak bir el küreği ile silindire doldurulur. Bu durumda dolgu, en gevşek yani en az birim hacim ağırlıkta ve en çok boşluk hacmine sahip olarak doldurulmuştur.

c) Üzeri elle düzeltilen malzemenin üstüne baskı diski yerleştirilir. Kenarlarda eşit aralık kalmasına dikkat

edilir. Bir verniyer ile, çevrede eşit aralıklı sekiz noktadan kapağın üstten silindir içindeki derinliği okunur ve ortalaması alınır ( $h_{ort}$ ).

d) Baskı disk üzerine yükleme esnasında dolgunun içeri gömülmesini karşılamak besleme diskleri yerleştirilir. Bu yerleştirmelerde merkez kaçıklığı çok iyi izlenmelidir. Presin düşey hareket edebilen üst tablası küresel başlığa hafifçe temas edecek kadar indirilir.

e) Üzerinde istenilen yükseklikte sabit kılınabilen şekilde monte edilen mekanik deformasyon ölçerin (dial gauge) bağlı olduğu çubuk alt tabla üzerine konur. Teleskopik uzantının ucu üst tablanın altına degecek şekilde ölçer konumlaştırılır. Ayrıca, yük yok iken ( $P=0$ ), okuma kutusundan sayısal olarak alınan, silindirin çevresine yerleştirilen elektrikli ölçerlerin okuma değerleri kayıt edilir.

f) Sabit deformasyon hızı ( $0.01 \text{ mm/sn}$ ) ile yükleme işlemine başlanır. Sıkışma eğrisinin (dolgu karakteristik eğrisi) çizilmesi için yeterli sayıda aralıklarla, press kadranında yük ( $P$ ) ve buna tekabül eden oturma deformasyonu ( $\Delta h$ ), mekanik deformasyon ölçer (dial gauge) göstergesinden kayıt edilir.

g) Yük düşey oturma okuması ile birlikte elektrikli birim deformasyon ölçerlerin (strain gauge) gösterdiği birim

deformasyonlar okuma kutusu göstergesinde bağlı kanallardan sırası ile okunur. Okuma değeri ile başlangıç değeri farkı o yük seviyesinde meydana gelen çevresel birim deformasyonu gösterir.



## 6. DOLGU MALZEMELERİ, ÖZELLİKLERİNİN BULUNMASI VE YÖNTEMLER

### 6.1. GİRİŞ

Malzeme seçiminin dolgulu sistemin başarılı olma derecesi üzerinde çok etkisi vardır. Dolgu malzemesi ucuz, bol ve elde edilmesi kolay olmalıdır. Genel olarak lavuar artıkları, kırılmış ocak taşları, kum, çakıl, termik santral kül-leri v.b., tek olarak veya ikili üçlü ve çeşitli oranlarda karışımlar halinde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler.

Bu bölümde Zonguldak'tan getirilen numunelerin kırılması, elek analizi, hacim özgül ağırlığı, birim hacim ağırlığı, tane şekillenmesi, nem içeriği gibi özelliklerinin etüd edilmesinde kullanılan yöntemler verilmiştir. Malzemenin tesbit edilen fiziksel değerlerinin bir kısmı bölüm içindeki tablolarda ve diğerleri sıkışabilirlik testlerine ait bölüm tablolarında verilmiştir. Ayrıca en sıkı malzemenin granülometrik yapısı araştırılmış ve dolgu malzemelerinin birim hacim ağırlıklarının değişimi incelenmiştir.

### 6.2. ZONGULDAK HAVZASINDA DOLGU MALZEMESİ POTANSİYELİ

Numuneler, havzada dolgu malzemesi olarak kullanılabilir olacak aşağıdaki kaynaklardan alınmıştır:

Zonguldak Merkez Lavuarı döküm sahası:

0-100 mm arasındaki lavuar artıklar bir bant konveyörü ile Balkaya döküm alanına dökülmektedir. Sahil kenarında geniş bir alana yayılan büyük bir artık yığını birikmiştir.

Kozlu ocaktaşı döküm sahası:

Ocakta yapılan ihzarat çalışmalarında çıkan taşlar (pasa) şantiye binalarının yakınında bir alana tumba edilip dozerle yayılmaktadır.

Çates (Çatalağzı Termik Santral) Külleri

Lavuarın ince kömür artıkları (şlam) kömür taneleri içerdiğinden termik santral yakıtı olarak kullanılmaktadır. Kazanların ızgaralarından alınan bakiye kül numune olarak alınmıştır.

Yukarıdaki kaynaklardan numuneler alınırken ASTM 075-82 standardında belirtildiği gibi çalışılmıştır<sup>(33)</sup>. Alınan numuneler, herhangi bir kayıp ve karışmaya uğramıyacak biçimde sağlam olarak mahfazalarına yerleştirilmiş ve O.D.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarına nakledilmiştir.

### 6.3. DOLGU MALZEMELERİNİN YAPI VE ÖZELLİKLERİNİN TESBİTİ

#### 6.3.1. Yöntemler

Sıkıştırma deneylerine başlamadan önce aşağıdaki işlem ve testler yapılmıştır.

- a. Alınan numunelerin fiziksel ve kimyasal yapıları,
- b. Kırma ve eleme
- c. Özgül ağırlık ve su emme tayini
- d. Birim hacim ağırlığı tayini
- e. Boşluk hacmi tayini
- f. Nem içeriği tayini
- g. Tane boyu dağılımı tayini
- h. Plastik özellik tayini
- i. Tane şekilleri incelenmesi

a) Alınan numunelerin yapıları Kerr tarafından verilen yöntemle ince kesit alınıp incelenmiştir<sup>(34)</sup>.

b) Kırma işlemi laboratuvarında mevcut bir çeneli kırıcı ile yapılmış belirli açıklıktaki elek altına elenmiştir.

c) Özgül ağırlık (G) ve su emme (A) ile ilgili tanım ve deney prosedürü ASTM standartlarına göre yapılmıştır<sup>(35)</sup> (36), (37). Verilen tanıma göre bir agreganın (çakıl boyutun-

da tane iceren granüler malzeme) hacim özgül ağırlığı (bulk specific gravity) bir birim hacımdaki (tanelerin içindeki gözenek hacmi dahil, taneler arasındaki boşluk dahil değil) agreganın havadaki ağırlığının aynı sıcaklıkta gazdan arınmış, distile edilmiş aynı birim hacımdaki suyun havadaki ağırlığına oranıdır.

d) Birim hacim ağırlığı ( $\gamma_f$ ) yığın halindeki dolgu malzemesinin bir birim hacminin (bütün boşlukları içerir) ağırlığını belirtir, Testler, ASTM C 29-78 standardında belirtildiği şekilde yapılmıştır<sup>(38)</sup>. Malzeme test silindiri-ne el küreği ile standarda da belirtildiği gibi doldurulmuştur. Böylece deney başlangıcında malzeme gevşek (loose) birim hacim ağırlığındadır ( $\gamma_f$ )<sub>A</sub>, ve boşluk hacmi maksimumdur<sup>(39)</sup>. Standarda da belirtilen test kablari sıkışabilirlik deney silindirlerine uymaktadır. Bu nedenle test silindirleri ölçü kablari olarak kullanılmışlardır. Malzemelerin başlangıç birim hacim ağırlıkları, ( $\gamma_f$ )<sub>A</sub>, kuru bazına göre bulunmuşlardır.

e) Boşluk hacmi (n), taneler arasındaki boşluk hacminin  $V_v$ , toplam hacıma  $V_t$  oranı olarak verilmektedir.

$$\text{Boşluk hacmi, } n (\%) = \frac{G \cdot \gamma_w - \gamma_f}{G \cdot \gamma_w} \times 100 \quad (24)$$

Burada,

G : Dolgu özgül ağırlığı

$\gamma_f$  : Dolgu birim hacim ağırlığı (grm/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_w$ : Ortam sıcaklık derecesinde suyun birim hacim ağırlığı (grm/cm<sup>3</sup>)

Özgül ağırlıkları tesbit edilen malzemenin deney kabına doldurulduğu zaman başlangıç boşluk hacmi ( $n_A$ ) yukarıdaki hesap işlemi ile bulunmuştur.

f) Bir granüler malzemenin nem içeriği ( $w$ ), kütle içindeki su ağırlığının ( $W_w$ ), kuru katı taneler ağırlığına ( $W_s$ ) oranı olarak tarif edilir.

$$W (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (25)$$

Zonguldak'dan getirilen numunelerin mahfazaları açılarak nem içerikleri tesbit edilmiştir. Sonra laboratuvarında kurumaya bırakılmışlardır. Çeneli kırıcı ile kırma operasyonunda bakiye nemin büyük bir kısmı gitmiştir. Her deneyden önce hazırlanan dolgu modelinin nem içeriği tesbit edilmiştir. Kırılmış ve hazırlanmış dolgu malzemesinde çakıl boyutu ve daha büyük boyuttaki fraksiyon nem içeriği J.A. Franklin tarafından önerilen ve kum ve daha ince malzeme fraksiyonu nem içeriği A.Kezdi tarafından önerilen yöntemlerle bulunmuştur<sup>(40), (41)</sup>.

g) Artı No. 400 (0.037 mm) veya artı No. 325 (0.044 mm) boyutundaki malzeme fraksiyonu tane boyu dağılımı ASTM standartlarına göre yapılmıştır<sup>(42), (43)</sup>. Elek seti kare açıklıklı

U.S. Standard dizisinde eleklerden grafik çizimi için yeter aralıklı noktalar elde edilecek şekilde sıralanmıştır. Grafik, tane boyu logaritmik ölçekte apsis olarak ve tane boyuna tekabül eden birikimli elek altı yüzdesi aritmetik ölçekte ordinat olarak alınmak sureti ile çizilmiştir.

Eksi No. 400 fraksiyonu tane boyu dağılımı TSE (Türk Standardları Enstitüsü) standardına göre analiz edilmiştir. Karışımlarda kullanılan malzemelerin elek analizi, her malzeme için alınan birkaç örneğin elek analizleri ve bu örneklerdeki dağılım noktalarından geçen en uygun eğrinin en küçük kareler yöntemine göre (regresyon) bulunması ile yapılmıştır.

h) Kil malzemesi bağlayıcı özelliğe sahiptir, dolgunun kohezyon ve katılık kazanmasına amil olur. Fakat, kil fraksiyonuna giren ince malzeme ( $\leq 0.005$  mm) belirli bir su içeriğinde plastik özellik kazanıp borularda veya dolgu makinesinin kek yaparak tıkanmalara sebep olabilir. Malzeme, içindeki kil fraksiyonunun miktar ve özelliğine bağlı olarak fazla veya az plastik davranış gösterebilir. Plastik sınırın genişliği, malzemenin plastik davranış içinde bulunduğu nem içeriği alt ve üst noktalarına bağlıdır<sup>(24)</sup>.

Karışımlarda kullanılan malzemenin (kırılmış kumtaşı kırılmış siltaşı, kül) 40 meş altı (-0.42 mm) ince fraksiyonu alınıp prosedürü verilen yöntemle<sup>(41)</sup> plastik limit ve likit limit sınırları araştırılmıştır.

g) Pnömatik ramble sisteminin etkili çalışması tane boyu kadar, şekli ile de ilgilidir. Şekilleri kübik veya küresele yaklaşan taneler hava akımında daha kolay taşınırlar<sup>(27)</sup>. Ayrıca malzemenin davranışı ile ilgili sonuç ve değerlendirme verilirken malzemeyi teşkil eden tanelerin şekil yapısı ve değişiminin verilmesi tamamlayıcı olmaktadır.

Tanelerin şekillenmesi ve şekil dağılımını incelerken Whetton ve Sinha tarafından daha önce İngiltere'nin Yorkshire bölgesinde pnömatik dolgu malzemeleri için uygulanan yöntem örnek alınmıştır<sup>(27)</sup>. Karışımlarda kullanılan kırılmış malzemelerden en büyük boyutu 1/2inç den küçük olmayan taneler örnekleme yöntemine göre alınmış, ortalama uzunluk ( $d_1$ ), genişlik ( $d_2$ ) ve kalınlıkları ( $d_3$ ) birbirlerine dik yönlerde ölçülmüştür. Uzunluk/genişlik ve genişlik/kalınlık oranları hesaplanmıştır.

### 6.3.2. Sonuçlar

a) Numune olarak alınan malzemelerin yapıları

Kozlu Ocak Taşları :

Bu ocak artıkları genellikle kumtaşıdır. Hazırlanan ince kesitlerde Kuvars (monokristalin + polikristalin) ve feldspat (ortoklaz + placyoklaz) mineralleri ve aralarında mika mineralleri, volkanik kayaç parçacıkları görülmüştür. Bağlayıcı madde kalsit olup eser miktarda kil mevcuttur.

### Lavuar artığı

Bu taşlar silttaşı olarak isimlendirilebilir. İnce kesitte kuvars ve feldspat taneleri ile aralarında mika minerallerinden oluştuğu görülmüştür. Bağlayıcı madde olarak kil mineralleri ve az miktarda kalsit gözlenmiştir. Kil mineralleri kaolinit, illit ve kloritten oluşmakta olup eser miktarda şişici kil minerali de görülmüştür.

### Çates Külleri,

Küllerin Kimyasal analizi aşağıda verilmiştir<sup>(44)</sup>,

İhtiva edilen	%
H <sub>2</sub> O (105 C <sup>o</sup> de)	0.06
SiO <sub>2</sub>	50.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.54
Ca O	2.36
MgO	2.07
SO <sub>3</sub>	0.33
Na <sub>2</sub> O	3.70
Yanma Kaybı	<u>4.44</u>
	100.00

b) Karışımlarda kullanılan malzemelerin (Kırılmış kumtaşı, silttaşı ve kül) özgül ağırlık ve su emme yüzdeleri tane büyüklüklerine göre deneyler ve ortalama sonuçları ile



birlikte Ek.A. de verilmiştir. Karışımların özgül ağırlıkları ise 7.ci bölümdeki sıkışabilirlik testlerinin tablolarında verilmiştir.

c) Sıkışabilirlik deneylerine alınan dolgu modellerinin deney başlangıcındaki gevşek ve kuru birim hacim ağırlıkları,  $(\gamma_f)_A$ , 7.ci bölümdeki sıkışabilirlik testlerinin tablolarında verilmiştir.

d) Zonguldak'dan getirildiğinde mahfazaları açılan numunelerin nem içerikleri Tablo 3 de verilmiştir:

Tablo 3. Mahfazaları açılan numunelerin nem içerikleri

Numune	Nem içeriği %					
	1	2	3	4	5	Ortalama
Kozlu Kumtaşı	1.6	1.4	1.5	1.7	1.3	1.5
Lavuar artığı	8.1	7.8	9.2	6.5	7.8	7.9
Kül	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3

e) Deneylerde kullanılan dolgu malzemelerinin başlangıç boşluk hacmi oranları 7.ci bölümdeki sıkışabilirlik test tablolarında verilmiştir.

f) Deneyi yapılan bütün dolgu malzemelerinin tane boyu dağılımları Ek.B de verilmiştir.

g) Bulunan sonuçlara göre, çeşitli tane boyları altına kırılan kumtaşı ince aksamı hiçbir plastik özellik göstermemiştir. Aynı şekilde, Çates külü de plastik davranış içine girmemiştir. Bu demektir ki, gerek kırılmış kumtaşı ve gerek Çates külü kil fraksiyonu içermektedir. Kırılmış silttaşından (Lavuar artığı) ayrılan ince aksam 0.16-0.20 arasında nem içeriğinde plastik davranış içinde kalmıştır. Kırılmış silttaşı, düşük plastik özelliğe sahip olacak miktarda az kil fraksiyonu içermektedir.

h) Karışımlarda kullanılan  $3/4"$ ,  $1 \frac{1}{8}"$  ve  $1 \frac{1}{2}"$  altına kırılıp elenen kumtaşı ve silttaşından numuneler alınıp bu numuneler kabaca tane fraksiyonlarına ayrılmıştır. Her fraksiyon içinde taneler kalınlıklarına göre birkaç grup altında toplanmıştır. Yaklaşık beşyüz taneden alınan ölçü değerleri Tablo 4 a,b,c ve d'de verilmektedir. Ayrıca iri tanelerin, ve mikroskop altında çekilmiş ince tanelerin fotoğrafları Şekil 15,16,17 ve 18 de verilmektedir. Tablolardaki yüksek standard sapma değerleri ve fotoğraflar, kullanılan malzemelerin çok farklı şekillerdeki tanelerden meydana geldiğini ve kırılmış kumtaşı ve silttaşı tanelerinin keskin kenarlı olduklarını göstermektedir. Kül tanecekleri ise çoğunlukla yuvarlak ve küresel biçime yakındır.

#### 6.4. SIKI DOLGU MALZEMESİ

Önceki araştırmacıların ortak görüşü yerinde sıkı (boşluk hacmi az, yoğun) malzemenin az sıkışabilir malzeme

olduğu paralelindedir. Yerinde sıkılığı kontrol eden faktör daha çok malzemenin tane boyu dağılımı olmaktadır<sup>(10)</sup>, (29x30).

Sıkışabilirlik testleri uygulanan karışım modellerinin tane boyu dağılımları (Ek-B) ve gevşek kuru birim hacim ağırlıkları (sıkışabilirlik deney tabloları; 7.ci bölüm) analiz edilmiştir.

Tablo 4 Çeşitli kırılmış malzemenin şekil parametreleri

Tablo 4.a. Malzeme : 1 1/2 inç altına kırılmış kumtaşı

Elek aralığı (inç)	Tane Kalınlığı (inç)	Tane Sayısı	Yüzde	Uzunluk/Genişlik oranı (Ortalama)	Genişlik/Kalınlık oranı (Ortalama)
1 1/2-1 1/8	1	6	14.7	1.4 $\overline{SD} = 0.2$	1.2 $\overline{SD}=0.1$
	7/8-4/8	30	73.1	1.5 $\overline{SD} = 0.3$	2.1 $\overline{SD}=0.4$
	3/8-1/8	5	12.2	1.6 $\overline{SD} = 0.4$	4.6 $\overline{SD}=0.5$
1 1/8-3/4	7/8-4/8	45	69	1.5 $\overline{SD} = 0.3$	1.5 $\overline{SD}=1.2$
	3/8-1/8	20	31	1.4 $\overline{SD} = 0.3$	3.6 $\overline{SD}=1.2$
3/4-3/8	5/8-4/8	15	16	1.8 $\overline{SD} = 0.6$	1.7 $\overline{SD}=0.6$
	3/8-1/8	80	84	1.5 $\overline{SD} = 0.4$	2.7 $\overline{SD}=1.4$
$\overline{SD}$ : Standard sapma					

Tablo 4.b. Malzeme : 1 <sup>1</sup>/<sub>8</sub> inç altına kırılmış Kumtaşı

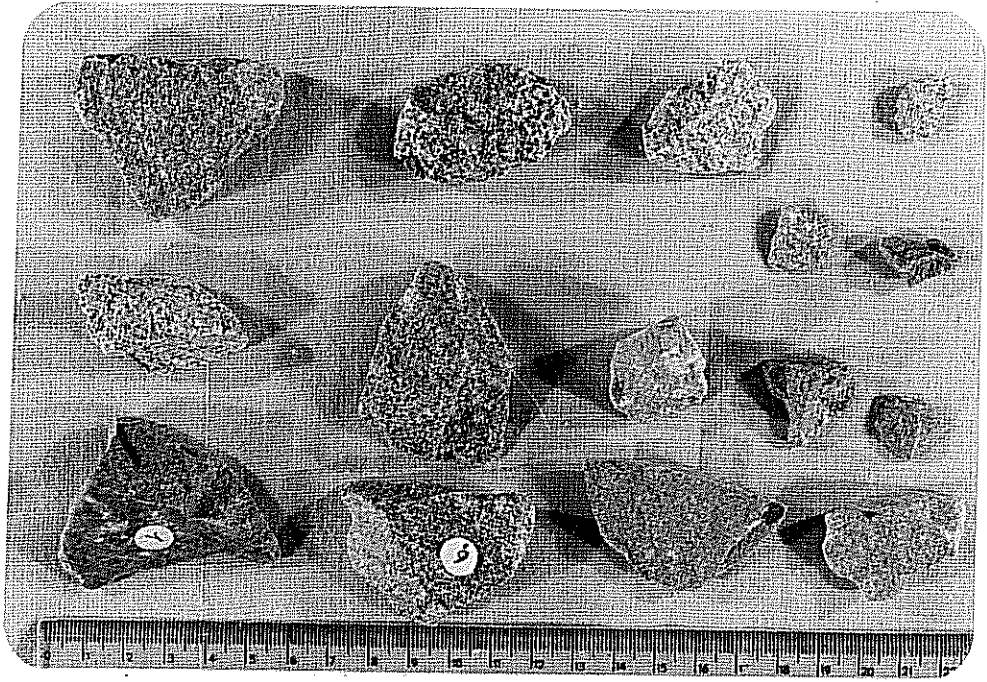
Elek aralığı (inç)	Tane kalınlığı (inç)	Tane Sayısı	Yüzde	Uzunluk/Geniş- lik oranı (ortalama)	Genişlik/kalınlık oranı (ortalama)
1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> -3/4	7/8 -4/8	45	75	1.4 $\overline{SD}=0.3$	1.5 $\overline{SD} =0.4$
	3/8 -1/8	15	25	1.5 $\overline{SD}=0.3$	4.1 $\overline{SD} =1.5$
3/4 -3/8	5/8 -4/8	10	17	1.6 $\overline{SD}=0.5$	1.3 $\overline{SD} =0.2$
	3/8 -1/8	50	83	1.6 $\overline{SD}=0.5$	2.3 $\overline{SD} =1.2$
$\overline{SD}$ = Standard Sapma					

Tablo 4.c. Malzeme : 3/4 inç altına kırılmış Kumtaşı

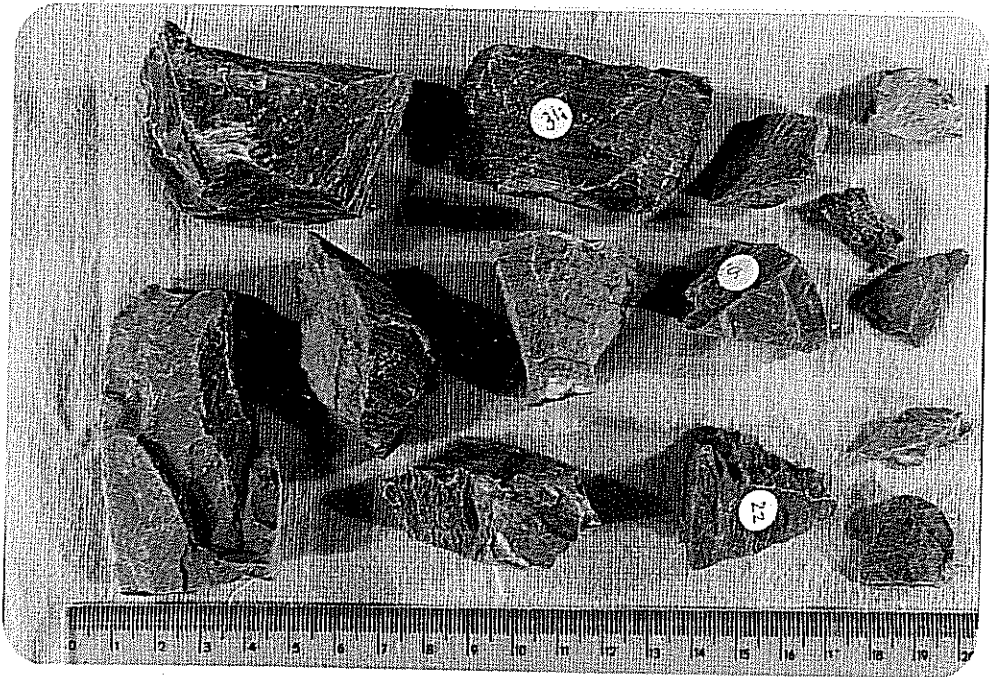
Elek aralığı (inç)	Tane kalınlığı (inç)	Tane Sayısı	Yüzde	Uzunluk/Geniş- lik oranı (Ortalama)	Genişlik/Kalınlık oranı (Ortalama)
3/4 -7/8	5/8 -4/8	17	32	1.7 $\overline{SD} = 0.5$	1.5 $\overline{SD} = 0.4$
	3/8 -1/8	36	68	1.6 $\overline{SD} = 0.5$	2.4 $\overline{SD} = 1.1$
$\overline{SD}$ = Standard Sapma					

Tablo 4.d. Malzeme: 1 1/2 inç altına kırılmış silttaşı  
(Lavuar artığı)

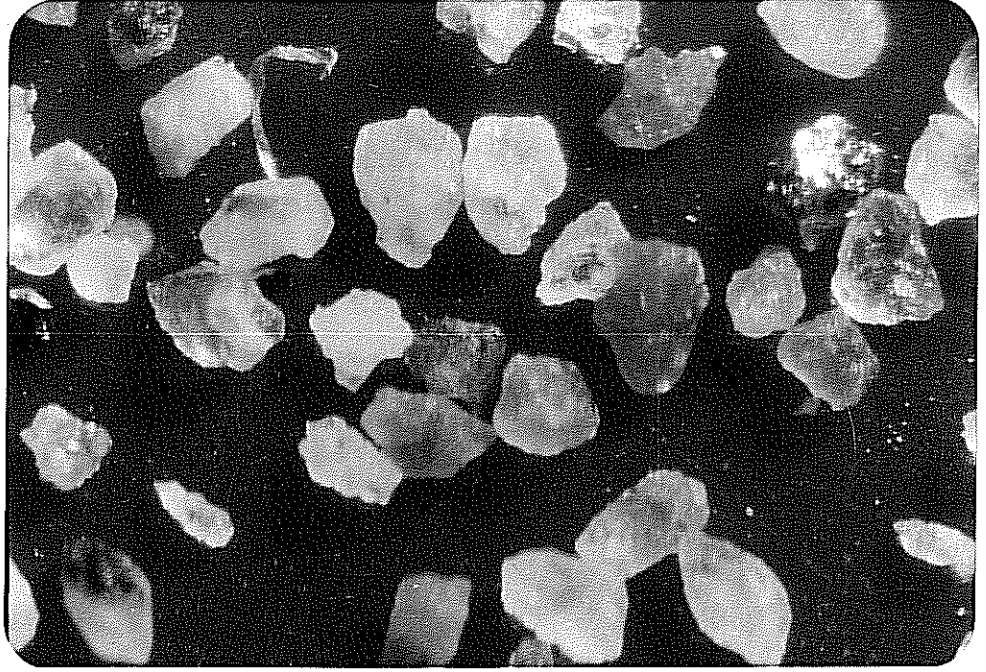
Elek aralığı (inç)	Tane kalınlığı (inç)	Tane Yüzde Sayısı	Uzunluk/Geniş- lik oranı (Ortalama)	Genişlik/kalın- lık oranı (Ortalama)
1 1/2 - 1 1/8	1	5 16	1.3 $\overline{SD} = 0.2$	1.3 $\overline{SD} = 0.2$
	7/8 - 4/8	23 74	1.5 $\overline{SD} = 0.3$	2.0 $\overline{SD} = 1.0$
	3/8 - 1/8	3 10	1.4 $\overline{SD} = 0.4$	3.75 $\overline{SD} = 1.0$
1 1/8 - 3/4	7/8 - 4/8	26 67	1.5 SD = 0.3	1.7 SD = 0.4
	3/8 - 1/8	13 33	1.5 SD = 0.4	3.5 SD = 1.2
3/4 - 3/8	5/8 - 4/8	4 10	1.5 $\overline{SD} = 0.3$	1.6 $\overline{SD} = 0.3$
	3/8 - 1/8	38 90	1.7 $\overline{SD} = 0.6$	2.6 $\overline{SD} = 1.3$
$\overline{SD}$ = Standard Sapma				



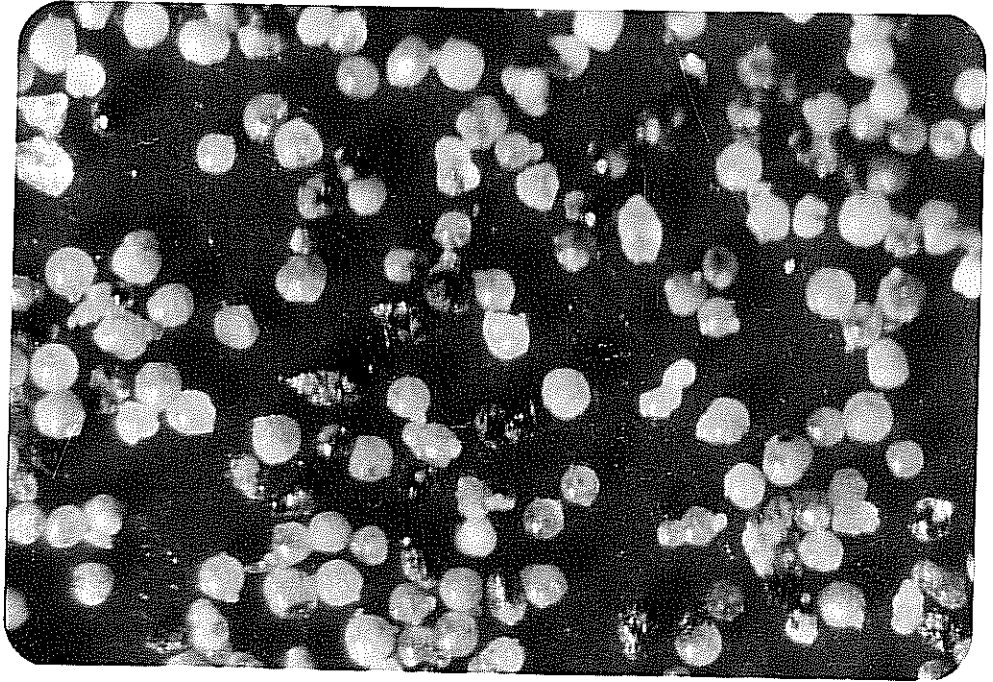
Şekil 15. Kırılmış Kumtaşı taneler.



Şekil 16. Kırılmış silttaşı taneleri



Şekil 17. Kırılmış kumtaşı tanecikleri (-100 meş ve + 200 meş arası)



Şekil 18. Kül tanecikleri (-100 meş ve +270 meş arası)

Aşağıda, iki karışım serisi örnek olarak verilmiştir.

1. 3/8" altına kırılmış kumtaşı (k.kt) ve 18 meş (1 mm) altına kırılmış silttaşı (K.st) karışımları.

Malzeme	Karışım (ağırlıkça, %)			
3/8" altı k.kt.	85	70	60	50
18 meş altı k.st.	15	30	40	50
C <sub>u</sub> değeri	30	35	27	21
C <sub>c</sub> değeri	1.24	0.46	0.79	1.09
γ <sub>f</sub> , grm/cm <sup>3</sup>	1.50	1.67	1.58	1.57

2. 3/4" altına kırılmış kumtaşı (k.kt) ve Çates külü Karışımları.

Malzeme	Karışım(ağırlıkça %)			
3/4" altı K.kt.	90	80	70	60
Çates Külü	10	20	30	40
C <sub>u</sub> değeri	122	300	345	380
C <sub>c</sub> değeri	20	6	0.08	0.03
γ <sub>f</sub> , grm/cm <sup>3</sup>	1.55	1.64	1.65	1.44

"C<sub>u</sub>" değerinin artışı ile malzemenin sıklığı ve dolayısıyla birim hacim ağırlığı artmaktadır.

Ancak, 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" , 1<sup>1</sup>/<sub>8</sub>" ve 3/4" altına kırılmış kumtaşları ile kül karışımlarında iri tanelerin yanında çok ince malzeme yüzdesinin artması ile çok yüksek "C<sub>u</sub>" değerleri elde edilmektedir.

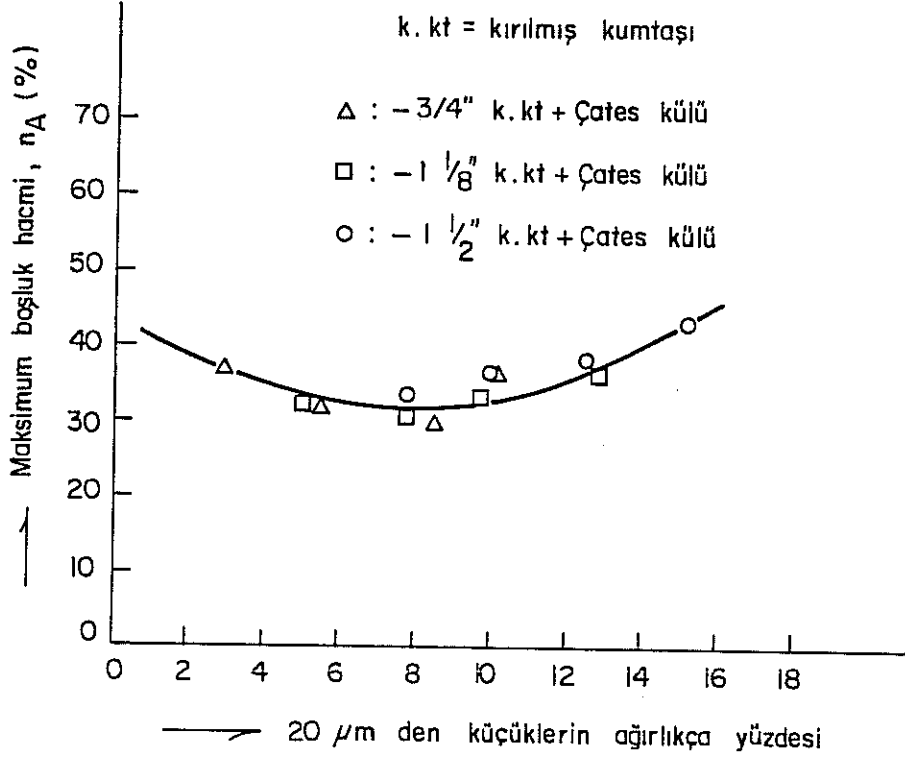


Çok yüksek " $C_u$ " değeri gösteren dağılımlı malzeme, daha küçük " $C_u$ " değerine sahip dağılımlı malzemeye göre daha çok boşluk oranına ve daha az sıklığa sahip olabilmektedir. Örnekte, ağırlıkça % 70 kırılmış kumtaşı ve ağırlıkça % 30 Çates külü karışımı malzeme,  $\gamma_f = 1.65 \text{ grm/cm}^3$  birim hacim ağırlığa sahip iken, ağırlıkça % 60 kırılmış kumtaşı ve ağırlıkça % 40 Çates külü karışımı malzeme, daha yüksek üniformaluluk katsayısı,  $C_u$ , değerine ( $C_u=380$ ), fakat daha düşük birim hacim ağırlık,  $\gamma_f = 1.44 \text{ grm/cm}^3$ , değerine sahiptir.

Dolgu malzemesinden maksimum birim hacim ağırlığına ulaşmak için karışım içinde belirli bir ölçüde ince malzeme gerekmektedir. İnce aksamın optimum değerden fazla olması halinde yoğunlukta önemli bir azalmanın olacağı gözönüne alınmalıdır. Fazla ince malzeme, fazla suyun katı tanecikler üzerindeki yüzdürme etkisine benzer bir etki yaparak, tanecikleri birbirinden uzaklaştırmak yoluyla boşluk oranının artmasına neden olur.

20  $\mu\text{m}$  boyutundan daha küçük taneciklerin ağırlık yüzdesi ölçü olarak alındığında Şekil 19 da görülen bir ilişki izlenebilir.

Kaba bir korelasyonla, gevşek halde yerleşmiş, diğer bir deyişle, maksimum birim boşluk hacmine sahip kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımı malzemelerde, 20  $\mu\text{m}$  den ince



Şekil 19. Gevşek yerleştirilmiş dolgu malzemesinde 20  $\mu$ m den ince fraksiyonu miktarı ile, boşluk hacmi arasında ilişki.

tane ağırlıklı yüzdesi 6-8 arasında olanlar, daha az boşluk hacmi veya daha fazla birim hacim ağırlık değerleri vermektedir.

Ancak malzemenin derecelenmesi daha çok önemlidir, aksi takdirde kırılmış kumtaşı ve 18 meş altı ince kırılmış siltaşı karışımlarının az ince malzeme miktarına göre daha büyük boşluk hacmi vermeleri gerekirdi.

O halde, Őu Şekilde bir genel yaklaşım yapılabilir,

1) Gevşek halde yerleştirilmiş bir granüler malzemenin minimum boşluk hacmine veya maksimum sıklılıŐa sahip olması için iyi derecelenmiş olması gerekir.

2) İyi derecelenmiş içerisinde, 20  $\mu\text{m}$  den incelerin aŐırlıka yzdesi 8-10 arasında olanlar daha siki olurlar.

Burada, iyi derecelenme anahtar kavram olduğundan konuyu daha detaylandırmak gerekmektedir.

Tablot ve Richard tarafından teklif edilen ideal karışım granulometrisi 18 eşitliği (4. bÖlüm) ile verilmiştir. Bu denkleme gÖre dağılım, iki tarafı logaritmik Ölçekli olarak çizilirse eğimi "m," olan bir doğru çıkar.

Kozlu kumtaşını sistemli bir Şekilde kırarak laboratuvarda yapay olarak elde edilen Talbot dağılımları ile (m=0.2,0.3,0.4,0.5) yapılan araştırmada maksimum bir hacim aŐırlılıĐının m=0.3 değerli Talbot dağılımı ile elde edildiği bulunmuştur. ( $\gamma_f=1.90 \text{ grm/cm}^3$ , buna gÖre, tane boyu dağılımı,

$$S=100 \left( \frac{d}{d_{\max}} \right)^{0.3} \quad (26)$$

Őeklinde verilen dağılıma yaklaşan malzeme yoğun malzeme olmaktadır. Burada, S, d(mm) aıklılığındaki elekten geçen malzemenin yzde miktarı,  $d_{\max}$  bileşimindeki en yzsek tane bzyklüğü (mm) olmaktadır.

İnce tane miktarı gözönüne alınır, 20  $\mu\text{m}$  den ince lerin ağırlıkça yüzdesi, 6-8 arasında olan ve 26 denklemi ile verilen dağılıma yaklaşan malzeme, boşluk hacmi en düşük, gevşek birim hacim ağırlığı en yüksek sıkı bir malzeme olmaktadır. Yapay olarak elde edilen karışımlardan tane boyu dağılımı 26 ifadesine göre verilen teorik dağılıma yaklaşanlar en sıkı malzemeler olmaktadır.

## 7. PNÖMATİK DOLGU MALZEMELERİNİN SIKIŞABİLİRLİK DENEYLERİ

### 7.1. GİRİŞ

Önceki bölümlerde, kullanılan deney sistemi, malzemelerin hazırlanması (kıırma, eleme) ve fiziksel özelliklerinin tesbiti (birim hacım ağırlığı, boşluk hacmı, v.b) anlatılmıştı.

Sıkışabilirlik deneyleri belirli bir düşünce ışığında iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu düşünceye göre, önce geliştirilen tek eksenli kapalı sıkıştırma sisteminin işlevliliği ve güvenilirliği kontrol edilmiş ve deney kablari için bir kriter çıkarılmıştır. Kontrol testleri bir model karışım malzemesi ile yapılmıştır. İkinci aşamada ise az sıkışabilir dolgu malzemesi tipleri, sistematik karışımlar ile araştırılmıştır. Malzemelerin sıkıştırma esnasındaki mekanik davranışları incelenmiştir.

### 7.2. MODEL KARIŞIM İLE KONTROL TESTLERİ

#### 7.2.1. Model Dolgu Karışımı ve Deney Sonuçları

Deneyler için Belçika'da daha önce kullanılmış olan bir dolgu malzemesi modeli hazırlanmıştır<sup>(45)</sup>.

Bu model karışımı,

3/4" altına kırılmış kumtaşı, 66,5 % ağırlıkça

18 meş (1 mm) altına ince kırılmış silttaşı, 21,9 ağırlıkça

Çates külü, 5,8 % ağırlıkça

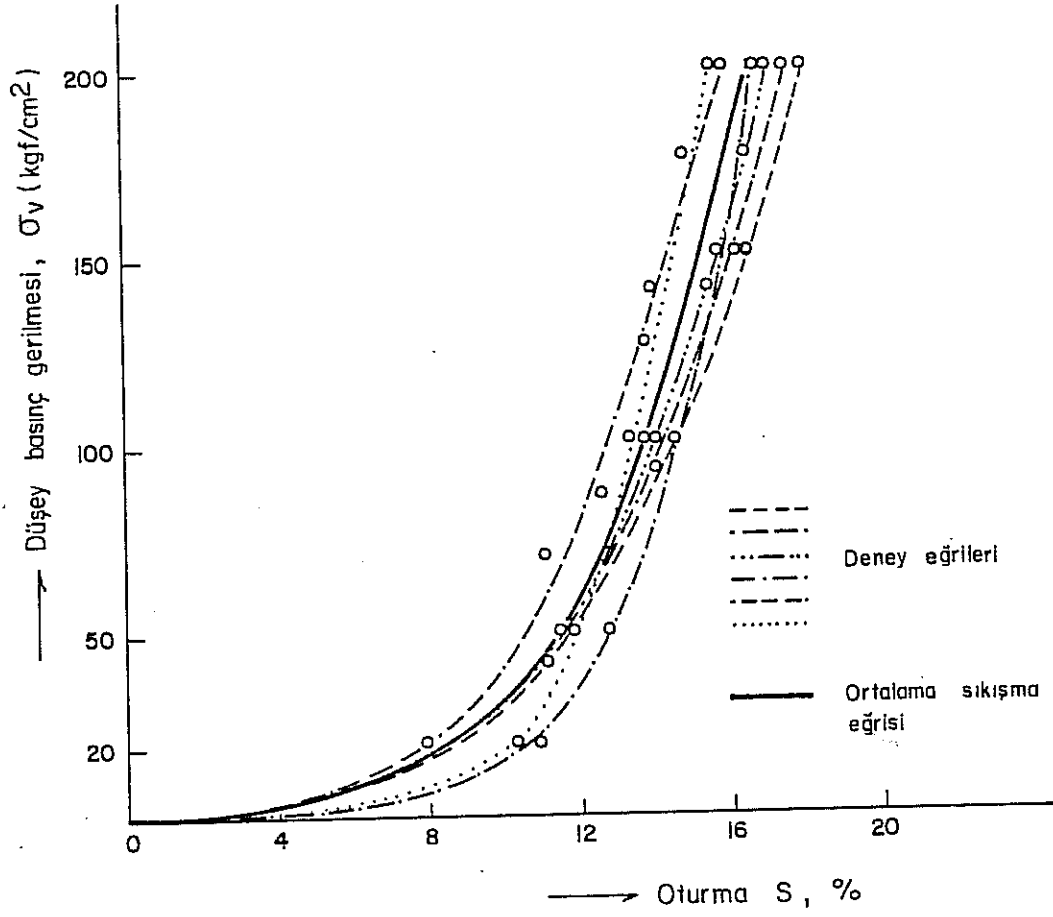
3/4" altına kırılmış silttaşı, 5,8 % ağırlıkça.

Bütün sildirlerde deneyler aynı model karışımı terki-  
binde hazırlanan dolgu malzemeleri ile tekrarlanmıştır. So-  
nuçlar ve değerlendirmeleri takip eden sayfalarda verilmiş-  
tir.

Tablo 5. Model dolgu karışımı ile I no.lu (D=10 cm) silindirde yapılan sıkışabilirlik deneylerine ait sonuçlar.

Deney No	Başlangıç birim hacim ağırlığı ( $\sigma_f$ )A <sub>2</sub> grm/cm <sup>3</sup>	Başlangıç boşluk hacmi n <sub>A</sub> (%)	Düşey basınç, $\sigma_v$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) değerlerine karşı gelen oturma, S (%) ve oturma sıklığı D' (%), değerleri				Sıkışma fonksiyonu (7) parametreleri $\sigma_o$ , N, $r^2 =$ determinasyon katsayısı
			$\sigma_v = 50$ S D'	$\sigma_v = 100$ S D'	$\sigma_v = 150$ S D'	$\sigma_v = 200$ S D'	
1	1.68	35.6	11.7 24	14.5 30.8	16.3 35.2	17.6 38.6	524.4 0.3912 0.998
2	1.6	36.3	11.5 22.8	14.1 28.7	15.8 32.9	17.0 35.9	689.3 0.369 0.997
3	1.66	33.9	11.9 26.3	13.6 30.6	14.8 33.8	15.7 36.2	1051.3 0.2731 0.997
4	1.61	35.9	9.7 19.1	12.5 25.5	14.4 30.0	15.9 33.7	666.3 0.4483 0.996
5	1.465	41.7	11.5 18.1	14.5 23.7	16.5 27.6	18.0 30.7	817.0 0.4031 0.99
6	1.575	37.3	12.8 24.6	14.7 28.9	15.8 31.5	16.7 33.7	1716.3 0.2492 0.996
7	1.54	38.7	11.1 19.7	14.0 25.7	15.9 29.9	17.3 33.1	717.7 0.4063 0.998
* R <sub>10</sub>	1,58	37.0	11.5 22.0	13.9 27.3	15.5 31.0	16.6 33.7	890.2 0.344 0.85

\* R<sub>10</sub> : Bütün ( $\sigma_v \rightarrow S$ ) deney noktalarına en iyi uyan sıkışma eğrisine ait değerler (regresyon ile).



Ŗekil 20. Model dolgu karıŖımı ile I no.lu silindirde (D= 10 cm) yapılan sıkıŖabilirlik deneyleri eğrileri.



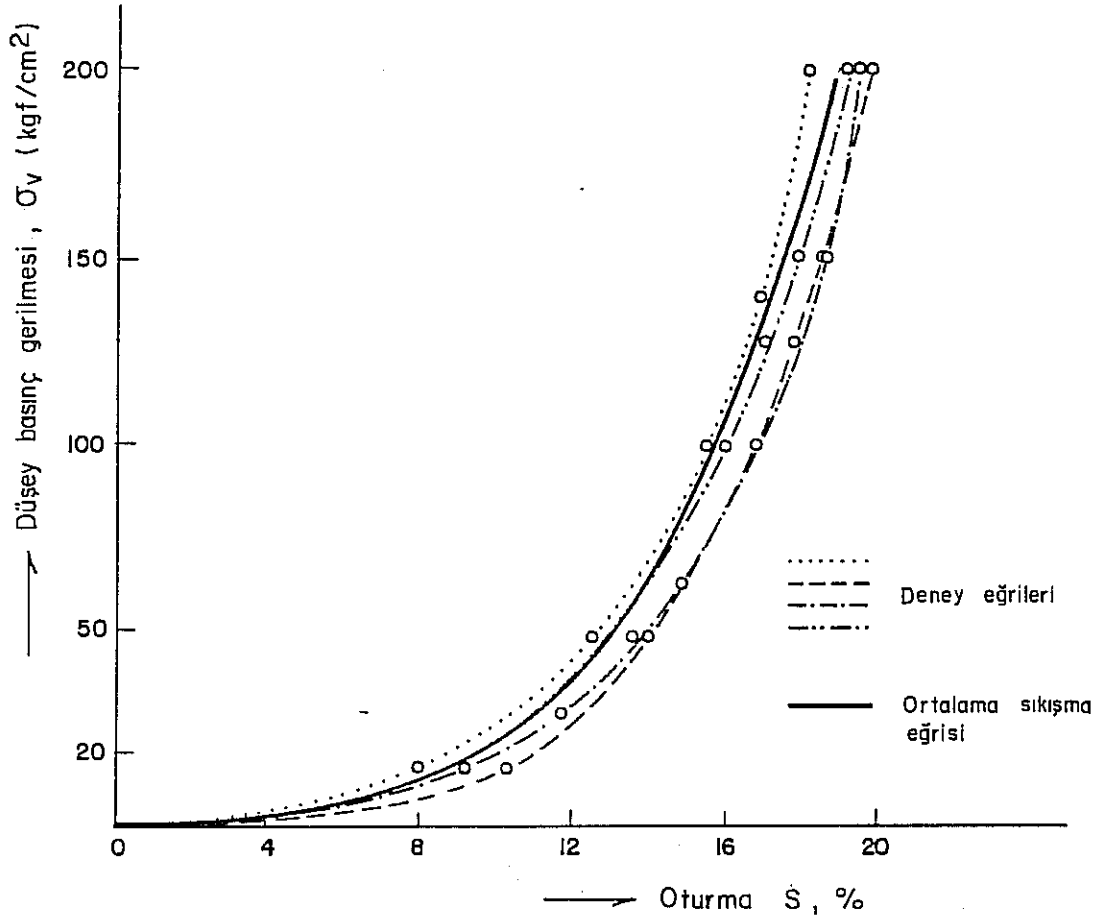
Tablo 6. Model dolgu karışımı ile II. no.lu (D= 20,7 cm) ve V. no.lu (D= 18,5 cm)

Silindirlerde yapılan sıkışabilirlik deneylerine ait sonuçlar

☆ V no.lu silindir ☆☆ II no.lu silindir.

Deney No	Başlangıç birim hacim (γ <sub>f</sub> ) A 3 Liqf gram/cm	Su içeriği (%) n <sub>A</sub>	Düsey basınç, σ <sub>v</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ), değerlerine karşı gelen oturma, S (%) ve oturma sıklığı D' (%) değerleri						Sıkışma fonksiyonu (7) parametreleri, σ <sub>o</sub> , N r <sup>2</sup> = determinasyon katsayısı σ <sub>o</sub> N (kgf/cm <sup>2</sup> ) r <sup>2</sup>				
			σ <sub>v</sub> = 50		σ <sub>v</sub> = 100		σ <sub>v</sub> = 150			σ <sub>v</sub> = 200			
			S	D'	S	D'	S	D'		S	D'		
1	1.68	33.1	13.6	31.7	16.5	39.7	18.3	45.7	19.6	48.7	260.3	0.3845	0.995
2	1.64	34.7	14.0	30.6	16.8	37.9	18.5	42.4	19.8	46.4	322.5	0.3539	0.991
3	1.70	32.4	18.6	30.1	15.3	37.8	17.0	42.8	18.3	46.8	326.1	0.3754	0.998
4	1.75	30.3	12.4	32.5	15.1	40.7	16.8	46.3	18.1	50.6	257.0	0.3925	0.99
5	1.68	33.1	13.0	30.1	16.0	38.4	17.9	44.0	19.3	48.2	277.6	0.4028	0.999
R <sub>20</sub>	1.71	31.9	13.2	32.4	15.9	40.2	17.6	45.5	18.9	49.6	268.5	0.3722	0.937

R<sub>20</sub> : Bütün (σ + S) deney noktalarına en iyi uyan sıkışma eğrisine ait değerler (regresyon ile).



Şekil 21. Model dolgu karışımı ile V no.lu (D=18.5 cm) ve II no.lu (D= 20 cm) silindirlerde yapılan sıkışabilirlik deneyleri eğrileri.

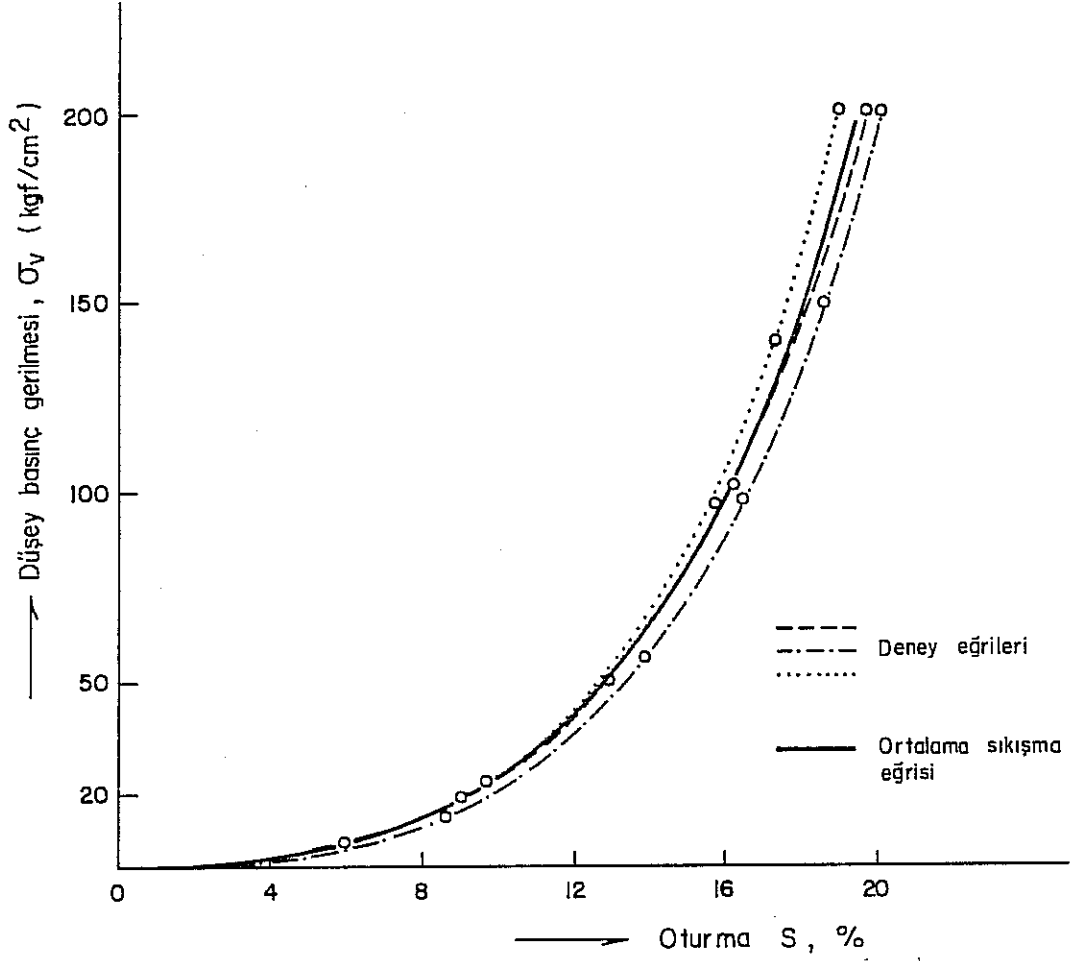
Tablo 7 Model dolgu karışımı ile III. no.lu (D= 31.0 cm) ve VI. no.lu (D= 30.0 cm)

silindirlerde yapılan sıkışabilirlik deneylerine ait sonuçlar

\* .III. no.lu silindir \*\* .VI no.lu silindir.

Deney No	Başlangıç birim hacim ağırlığı ( $\gamma_f$ ) A <sup>3</sup> grm/cm <sup>3</sup>	Başlangıç boşluk hacmi n <sub>A</sub> (%)	Düşey basınç $\sigma_v$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) değerlerine karşı gelen oturma S(%) ve oturma sıklığı D' (%) değerleri						Sıkışma fonksiyonu (7) parametreleri, $\sigma_o$ , N $r^2 =$ Determinasyon katsayısı $\sigma_o$ N (kgf/cm <sup>2</sup> ) $r^2$				
			$\sigma_v = 50$		$\sigma_v = 100$		$\sigma_v = 150$			$\sigma_v = 200$			
			S	D'	S	D'	S	D'		S	D'		
1*	1.70	32.4	13.5	32.6	16.7	41.9	18.7	48.0	20.1	52.2	215.0	0.4235	0.999
2*	1.70	32.4	12.8	30.7	15.8	39.2	17.6	44.7	19.0	49.0	275.0	0.4012	0.999
3**	1.738	30.8	12.7	32.6	16.1	43.0	18.2	49.9	19.7	55.0	189.0	0.4687	0.995
4**	1.70	32.4	12.5	31.9	15.6	41.4	17.9	48.9	19.4	53.9	242.5	0.4532	0.996
R <sub>30</sub>	1.71	32.4	13.0	31.8	16.1	40.8	18.1	47.0	19.5	51.5	226.0	0.4305	0.98

R<sub>30</sub> : Bütün ( $\sigma_v \rightarrow S$ ) deney noktalarına en iyi uyan sıkışma eğrisine ait değerler (regresyon ile)



Şekil 22. Model dolgu karışımı ile III. no.lu

(D=31 cm) ve VI. no.lu (D=30 cm) silindir-  
lerde yapılan şıkışabilirlik deneyleri  
eğrileri.

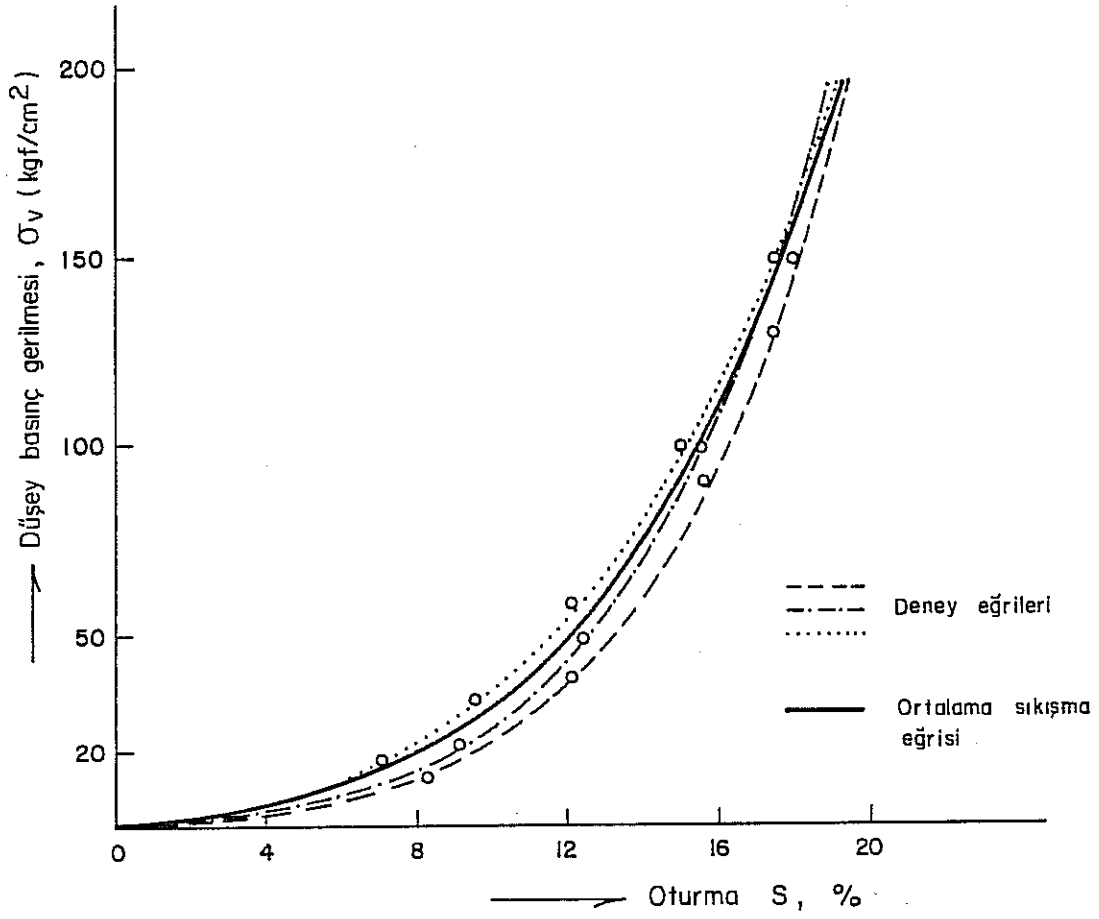
Tablo 8. Model dolgu karışımı ile IV no.lu (D=36 cm) ve VII no.lu (D=39 cm)

Silindirlerde yapılan sıkışabilirlik deneylerine ait sonuçlar

☆. IV no.lu silindir ☆☆. VII no.lu silindir.

Denei No	Başlangıç birim hacim ağırlığı ( $\gamma_f$ ) A gram/cm <sup>3</sup>	Başlangıç boşluk hacmi n <sub>A</sub> (%)	Düşey basınç, $\sigma_v$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) değerlerine karşı gelen oturma S (%) ve oturma sıklığı D' (%) değerleri						Sıkışma fonksiyonu (7) parametreleri, $\sigma_o$ , N $r^2$ = determinasyon katsayısı $\sigma_e$ N $r^2$ (kgf/cm <sup>2</sup> )				
			$\sigma_v = 50$		$\sigma_v = 100$		$\sigma_v = 150$			$\sigma_v = 200$			
			S	D'	S	D'	S	D'		S	D'		
1 <sup>☆</sup>	1.67	33.5	13.1	29.9	16.2	38.8	18.0	43.4	19.5	48.0	282.0	0.4022	0.997
2 <sup>☆☆</sup>	1.736	30.9	11.1	25.8	14.9	39.1	17.5	47.3	19.4	53.7	205.5	0.5721	0.995
3 <sup>☆☆</sup>	1.78	29.1	12.4	34.3	15.5	44.4	17.5	45.5	19.0	56.8	181.0	0.457	0.999
R <sub>39</sub>	1.71	31.9	12.1	29.3	15.5	39.0	17.7	45.8	19.3	50.9	231.3	0.4817	0.96

R<sub>39</sub> : Bütün ( $\sigma_v + S$ ) deney noktalarına en iyi uyan sıkışma eğrisine ait değerler (regresyon ile)



Şekil 23. Model dölgu karışımı ile IV no.lu (D=36 cm) ve VII no.lu (D=39 cm) silindirlerde yapılan sıkışabilirlik deneyleri eğrileri.

Tablo 9. Model dolgu sıkıştırma deneylerinde yanal itki ile ilgili sonuçlar. D= silindir çapı  
 $E_c = 2150000 \text{ kgf/cm}^2$  t=si, cidar kalınlığı

Deney No	Düşey basınç $\sigma_v$ (kgf/cm <sup>3</sup> )	Yanal itki $\sigma_h = \frac{2E_c \epsilon_{av} t}{h}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Stran gauge değerleri Ort. $\epsilon_{av} \times 10^6$	$\Delta \epsilon = \frac{(\epsilon - \epsilon_{min})}{\epsilon_{max}}$ Poisson		
				$\epsilon_{max} = \text{en büyük yük değ.}$	$\epsilon_{min} = \text{en küçük değ.}$ $\mu$	
I no.lu (D=10 cm) Silindir deneyleri	50.0	11.3	56.0	50.0	= 0.16	
	100.0	22.6	112.0	120.0		
	150.0	33.9	168.0	160.0		
	200.0	45.2	224.0	200.0		
	50.0	8.5	42.0	45.0		
	100.0	18.2	90.0	110.0		
	150.0	28.4	140.5	148.0		
	200.0	37.9	187.5	176.0		
	50.0	12.3	60.8	51.0		
	100.0	24.7	122.2	64.0		
	150.0	35.2	174.2	92.0		
	200.0	47.0	232.5	120.0		
II no.lu (D=20,7cm) ve V no.lu (D=18,5cm) silindir deneyleri	50.0	15.0	131.3	30.0	= 0.24	
	100.0	31.2	273.5	57.0		
	150.0	47.5	415.7	86.0		
	200.0	62.5	547.0	125.0		
	50.0	15.2	133.0	115.0		
	100.0	30.5	267.0	165.0		
	150.0	45.7	400.0	211.0		
	200.0	61.0	534.0	258.0		
	50.0	17.3	148.8	124.0		
	100.0	34.3	295.1	215.0		
	150.0	51.5	443.1	276.0		
	200.0	69.1	594.6	311.0		
III (D=31cm) ve VI (D=30cm) no.lu silindir deneyleri	50.0	17.4	162.9	86.0	= 0.26	
	100.0	34.8	325.8	167.0		
	150.0	52.8	488.7	237.0		
	200.0	69.6	651.6	290.0		
	50.0	14.0	195.0	128.0		
	100.0	28.1	392.1	180.0		
	150.0	42.2	588.8	246.0		
	200.0	56.3	785.6	294.0		
	50.0	13.9	252.1	167.0		= 0.22
	100.0	27.8	504.3	246.0		
	150.0	41.7	756.4	301.0		
	-	-	-	-		
50.0	15.9	190.0	115.0			
100.0	31.8	380.0	205.0			
150.0	47.8	559.7	220.0			
-	-	-	-			

## 7.2.2. Model Dolgu Karışımı ile Yapılan Deneylerin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

1) Bütün sıkışabilirlik deneylerinin ( $\sigma_v-S$ ) verileri Liberman ve Mal'kova tarafından verilen  $S = n_A [ 1 - e^{-(\sigma_v/\sigma_0)^N} ]$  eşitliği ile çizilen eğri ile çok büyük uyum sağlamaktadır.

En küçük kareler toplamı yöntemi ile yapılan regresyon analizinde uyumluluğu gösteren determinasyon katsayısı,  $r^2$ , bütün deneylerde 0.99 ile 1.0 arasında değer vermiştir.

Bütün deneylerin sıkışma fonksiyonu parametreleri ( $N$  ve  $\sigma_0$ ) tablolarda verilmiştir.  $N$  parametresi için,  $0 \leq N \leq 1$  genel sonucu izlenmektedir.

2) Tek eksenli kapalı sıkışma deneylerinde en önemli konulardan biri malzeme ile silindir cidarı arasındaki sürtünmedir.

Deneylerde, bu etki gözönüne tutularak, silindir çapı genişlemesi ile malzemenin sıkışma özellikleri arasında bir ilişki aranmıştır.

Küçük çaplı silindir ( $D= 10$  cm) ile yapılan deneylerde çap daralmasının etkisi araştırılmıştır.

Tablo 5 e bakıldığında gevşek birim hacim ağırlıkları değerlerinin, model dolgunun ortalama birim hacim ağırlığı,  $1.71 \text{ grm/cm}^3$  değerinden küçük oldukları görülür. Mal-

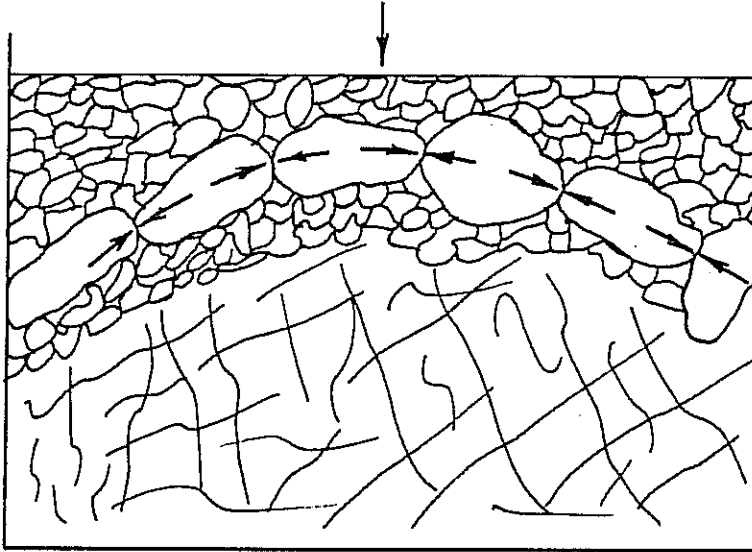


zeme, küçük çaplı silindirde tam olarak yerleşmemekte ve boşluk hacmi artmaktadır. Ancak, az sıkı malzemenin çok sıkışması gerekirdi.

I no.lu (D= 10 cm) silindirdeki sıkışan dolgu incelendiğinde dolgunun üst kısmında bir kemer teşekkül ettiği izlenmiştir (Şekil 24). Bu kemer, basıncın dağılımını engelleyen bir tampon gibi davranmakta ve basıncın alta intikali önlemektedir. İkinci silindirde (D= 20.7 cm) bu olay kaybolmaktadır.

Sıkıştırma deneyleri silindir çaplarına göre dört grupta toplanabilir.

1. Grup : I no.lu (D= 10 cm) silindir ile yapılan deneyler.
2. Grup : II. no.lu (D= 20.7 cm) ve V no.lu (D=18.5 cm) silindir ile yapılan deneyler.



Ölçek : 1/1

Şekil 24. Dar çaplı silindirde üst kısımda oluşan kemerleşme.

3. Grup : III no.lu (D= 31.0 cm) ve VI no.lu  
(D= 30.0 cm) deney silindirleri ile yapı-  
lan deneyler.

4. Grup : IV no.lu (D= 36.0 cm) ve VII no.lu  
(D= 39.0 cm) deney silindirleri ile yapı-  
lan deneyler.

Gruplar arasındaki farkın önemi istatistik yöntemle-  
ri ile kontrol edilmiştir. Her grupta deneylerin verilerinden geçen en uygun eğri ve denklemi (Liberman ve Mal'kova) regrasyon yöntemi ile bulunmuş ve determinasyon katsayısı ( $r^2$ ) tablolarında verilmiştir (Tablo 5,6,7,8). Grupların regresyon eğrilerinin korelasyon katsayıları ( $r$ ) arasındaki farkın önemi kontrol edilmiştir<sup>(46)</sup>. Ayrıca, bir basınç gerilmesi seviyesinde ( $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$ ) gruplardaki ortalama oturma ( $S$ ) değerleri arasındaki farkın önemi de kontrol edilmiştir<sup>(47)</sup>. Model karışımı ile yapılan deneylerde, 2,3 ve 4 cü grupların deney sonuçlarında gruplararası fark önemsiz olarak bulunmuştur. O halde,  $D = 20 \text{ cm}$  silindir çapından sonra deneylerin farklılık göstermediği sonucuna ulaşılmıştır. Böylece küçük çaplı ( $D= 10 \text{ cm}$ ) silindirde yapılan sıkıştırma deneylerinin, çapı  $D = 20 \text{ cm}$  ve daha büyük olan silindirlerdeki deneylerden farklılığı istatistik yöntemleri ile bulunmakta olup ayrıca gözlemsel olarak da daha önce anlatıldığı şekilde izlenmişti.

Sıkıştırmanın silindirin geometrisinden diğer bir anlatımla çap etkisinden bağımsız olması için iki kriter kullanılmalıdır:

a) Literatürde araştırmacıların üzerinde durduğu yükseklik ve çap oranı ( $H/D$ ), 2 den küçük olmalıdır. Yani, silindir içinde dolgu malzemesi yüksekliği yaklaşık  $H=40$  cm ise, silindir çapı en az 20 cm olmalıdır.

b) Ancak bir silindire yerleştirilen malzemenin tane büyüklüğünü de düşünmek gerekir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, silindir çapı dolgu malzemesinin en iri tane boyunun ( $d_{max}$ ) 8 ilâ 10 katı olduğu zaman çap etkisi ihmal edilebilecek düzeye inmektedir.

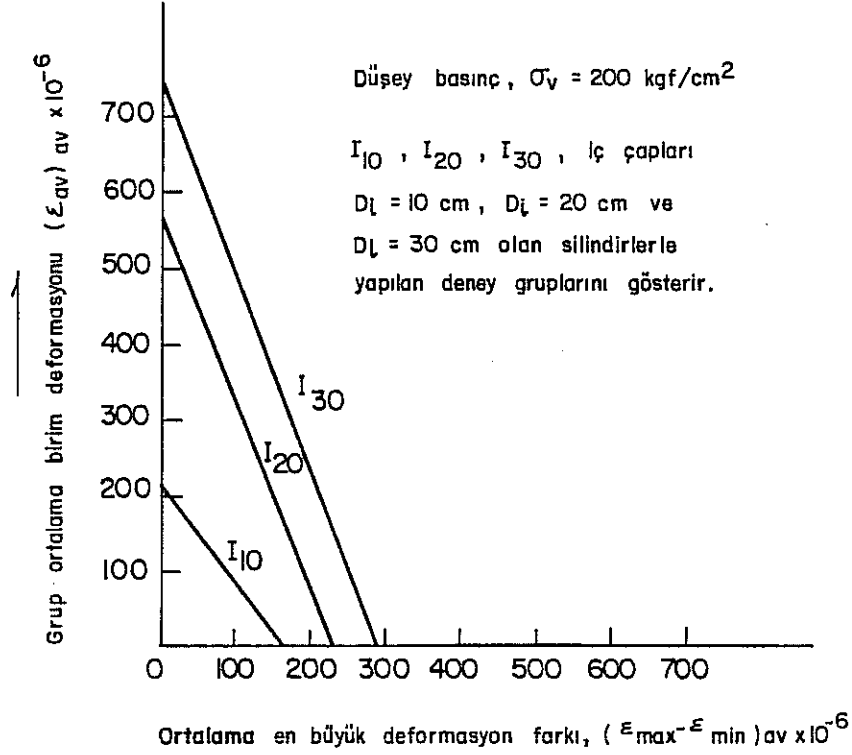
3) İnce cidarlı silindirler teorisine dayanarak yanal itki ( $\sigma_h$ ) değerleri bulunurken silindir çevresinde dağılımı veya çevredeki birim-deformasyon değerleri izlenmiştir.

Tablo 9 daki veriler incelendiğinde sistemin davranışının genel eğilimi anlaşılabilir.

Kesin bir kural olmamakla beraber iki eğilim söz konusudur:

a) Çevredeki birim-deformasyon değerlerinin ortalaması ( $\epsilon_{av}$ ), ve en büyük değer ( $\epsilon_{max}$ ) ile en küçük değer ( $\epsilon_{min}$ )

farkı karşılaştırıldığında silindir çapı genişledikçe ortalama deformasyona göre en büyük ve en küçük değer farkının düştüğü görülmektedir.



Şekil 25. Çap artmasının yanıl deformasyon üzerine etkisi.

Örnek olarak,  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  lik basınç altında yanıl deformasyon ile ilgili sonuçlar Tablo 9. dan alınmıştır:

Deneyler :	I. no.lu silindir deneyleri, ( $D = 10 \text{ cm}$ )	II ve V no.lu silindir deneyleri ( $D = 20 \text{ cm}$ )	III ve VII no.lu silindir deneyleri ( $D = 30 \text{ cm}$ )
$(\epsilon_{av})$ ortalaması: $\times 10^{-6}$	214.7	558.5	718
$(\epsilon_{max} - \epsilon_{min})$ ortalaması: $\times 10^{-6}$	165.3	231.3	292

Şekil 25 de izlendiği üzere  $I_{10}$ ,  $I_{20}$ , ve  $I_{30}$  doğrularında eğimin gittikçe yükselmesi, ortalamaya göre, en büyük ve en küçük değer farkının gittikçe azaldığını göstermektedir.

b) Genel olarak deneylerde, çevredeki birim deformasyon ortalaması ( $\epsilon_{av}$ ) ve en büyük değer ( $\epsilon_{max}$ ) ve en küçük değer ( $\epsilon_{min}$ ) farkı karşılaştırıldığında basınç seviyesi ( $\sigma_v$ ) yükseldikçe ortalama birim deformasyona ( $\epsilon_{av}$ ) göre ( $\epsilon_{max} - \epsilon_{min}$ ) farkının düştüğü görülmektedir.

Basınç ( $\sigma_v$ ) arttığı zaman, oturan malzeme taneleri arasındaki boşluklar kapanmakta ve taneler arası artan temas noktası sayısı basınç dağılımının homojen ve yaygın olmasını sağlamaktadır.

4) Belli dolgu malzemesi karışımının birden çok sıkıştırma deneyinde oturma farklılaşmasının önemi kontrol edilmelidir.

Daha önce, 2, 3 ve 4 cü grupların deney sonuçlarında gruplararası fark önemsiz bulunmuştu ve dolayısıyla model karışım ile bu gruplara ait silindirlerde yapılan sıkıştırma deneyleri tek bir grup altında toplanmıştı. O halde, ilgili tablolarda sonuçları verilen model karışım sıkıştırma deneyleri tekrarlama deneyleri olarak ele alınabilir.

Tablo 6, 7, 8 de verilen deney sonuçlarına göre aşağıdaki tablo düzenlenmiştir.

Tablo 10. Model karışım ile yapılan sıkıştırma deneylerinde elde edilen oturmalar.

Basınç gerilmesi $\sigma_v$ , kgf/cm <sup>2</sup>	En düşük oturma S %	En yüksek oturma S %
50	11.1	13.5
100	14.9	16.8
150	16.8	18.7
200	18.1	20.1

Tablo 10 dan izlendiği gibi deneylerde elde edilebilecek maksimum oturma ( $S_{max}$ ) ve minimum oturma ( $S_{min}$ ) değerleri arasında % 2 civarında bir farklılık olabilmektedir. Tablo 9 da, birleştirilen 2, 3 ve 4 grup deneyleri sonuçlarında en düşük Poisson oranı  $\mu = 0.22$  ve en yüksek Poisson oranı  $\mu = 0.26$  ve ortalama  $\mu = 0.24$  olarak görülmektedir. Yanal basınç oranının ( $K_0$ ), en yüksek ve en düşük değerleri arasındaki fark ise 0.04 dür.

1 1/8" altına kırılmış kumtaşı (% 65 ağırlıkça) ve Çates külü (% 35) ağırlıkça karışımı, 3/8" altına kırılmış kumtaşı (% 70 ağırlıkça) ve 18 meş. (1 mm) altı ince kırılmış silttaşı (% 30 ağırlıkça) karışımı ve 3/4" altı kırılmış kumtaşı numuneleri ile yapılan tekrarlı deneylerinde model dolgu karışımı ile yapılan deneylerin analizinde elde edilen sonuçlara çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Analizlerin sonucu, geliştirilen tek eksenli sıkıştırma sisteminin tutarlı olduğunu göstermektedir. Bir tip dolgu malzemesi ile yapılan tekrarlama deneylerinde elde edilen sonuçlar yakın ve tutarlı değerler veriyor. O halde, muhtelif tip ve karışımlardaki dolgu malzemelerinin sıkıştırmadaki davranışları mukayese edilebilir.

### 7.3. SİSTEMATİK DOLGU KARIŞIMLARI İLE YAPILAN SIKIŞA- BİLİRLİK DENEYLERİ

#### 7.3.1. Giriş

Model dolgu malzemesi ile sıkıştırma deneylerinin genel karakterleri incelendikten sonra, en az sıkışma veren ve yük taşıma karakteri yüksek olan dolgu modeli üzerinde araştırma yürütülmüştür.

Daha önceki araştırmacıların çalışmalarından elde edilen bilgiler ışığında (10), (29), (30), iri taneli bir malzemenin içine ince malzeme aksamı karıştırmak suretiyle ucuz ve elde edilmesi kolay malzeme karışımları hazırlanmıştır. Beş karışım serisi hazırlanmıştır. İlk iki seride iri taneler içeren kırılmış kumtaşı içine 18 meş.(1 mm) altı ince kırılmış silttaşı artan oranlarda karıştırılmıştır. Fakat, kül karışımının daha az sıkışabilirlik göstermesi üzerine üç seri deney kırılmış kumtaşı ve kül karışımları ile yapılmıştır. Seriler, karışımda kullanılan kırılmış kumtaşının en büyük

tane boyunu artırmak sureti ile hazırlanmıştır. Karışımların ağırlıkça yüzdelerini sistematik olarak değiştirmek şekliyle seri içinde en az sıkışma veren karışım bulunmuştur. Deneyler yapılırken model dolgu karışımı ile bulunan sonuçlar çerçevesinde çalışılmış, malzemenin tane boyuna göre silindir kullanılmış ve dolgu yüksekliği ayarlanmıştır.

### 7.3.2. Yapılan Deneyler ve Sonuçlar

Yapılan ikili karışım deneyleri aşağıda verilmiştir.

a)  $3/8$ " altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş (1 mm) altı ince kırılmış silttaşı karışımları deneyleri

b)  $3/4$ " altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş (1 mm) altı ince kırılmış silttaşı karışımları deneyleri

c)  $3/4$ " altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışım deneyleri

d)  $1 \frac{1}{8}$ " altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışım deneyleri

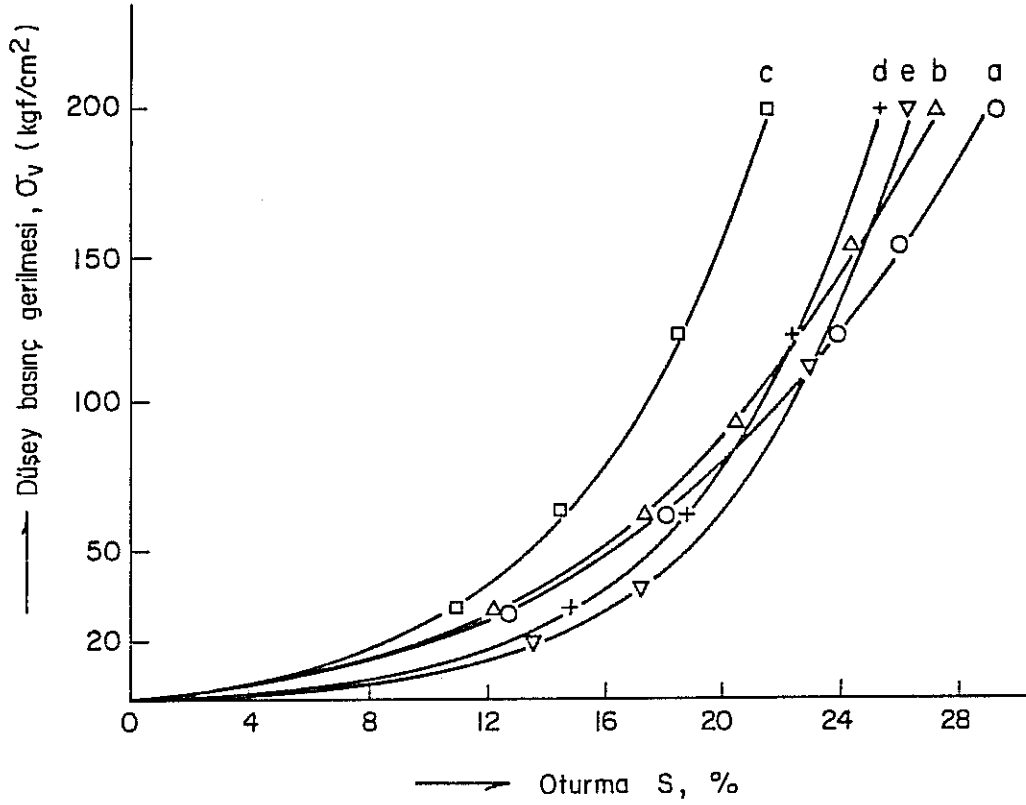
e)  $1 \frac{1}{2}$ " altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları deneyleri.

Deneylerin sonuçları bundan sonraki sayfalarda verilmiştir.



Tablo 11. 3/8 altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş (1 mm) altı ince kırılmış siltaşı karışımları ile V no.lu (D = 18.5 cm) silindirde yapılan sıkışabilirlik deneyleri sonuçları.

Malzeme 3/8 altı kırılmış kumtaşı	18 meş (1 mm) altı kırılmış siltaşı %	Hacim Özg. ağırlık G	Başlangıç birim hacim ağırlığı $\gamma_A$ gram/cm <sup>3</sup>	Başlangıç boşluk hacmi $n_A$ (%)	Düşey basınç, $\sigma_v$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) değerlerine karşı gelen oturma, S(%) ve oturma sıklığı D' (%) değerleri				Sıkışma fonksiyonu(7) parametreleri, $\sigma_0, N$ $r^2 =$ determinasyon katsayısı $\sigma_0$ N (kgf/cm <sup>2</sup> ) $r^2$						
					$\sigma_v = 50$		$\sigma_v = 100$			$\sigma_v = 150$		$\sigma_v = 200$			
					S	D'	S	D'		S	D'	S	D'		
100	-	2.55	1.37	46.2	16.1	22.0	22.2	32.4	26.4	41.0	29.4	48.3	196.3	0.622	0.997
85	15	2.56	1.50	41.0	15.5	26.0	21.0	37.7	24.6	46.2	27.3	53.1	172.4	0.602	0.998
70	30	2.562	1.67	34.8	13.3	28.7	17.3	39.2	19.8	46.3	21.6	51.6	211.6	0.504	0.998
60	40	2.566	1.58	38.4	15.6	29.6	20.3	40.8	23.2	48.4	25.3	54.3	173.0	0.523	0.999
50	50	2.57	1.57	38.9	18.5	35.7	22.4	45.3	24.7	51.5	26.4	56.3	146.7	0.405	0.998



Malzeme :	Karışımında ağırlıkça, %				
	a	b	c	d	e
- 3/8" kırılmış kumtaşı	100	85	70	60	50
-18 meş ince kırılmış silttaşı	-	15	30	40	50

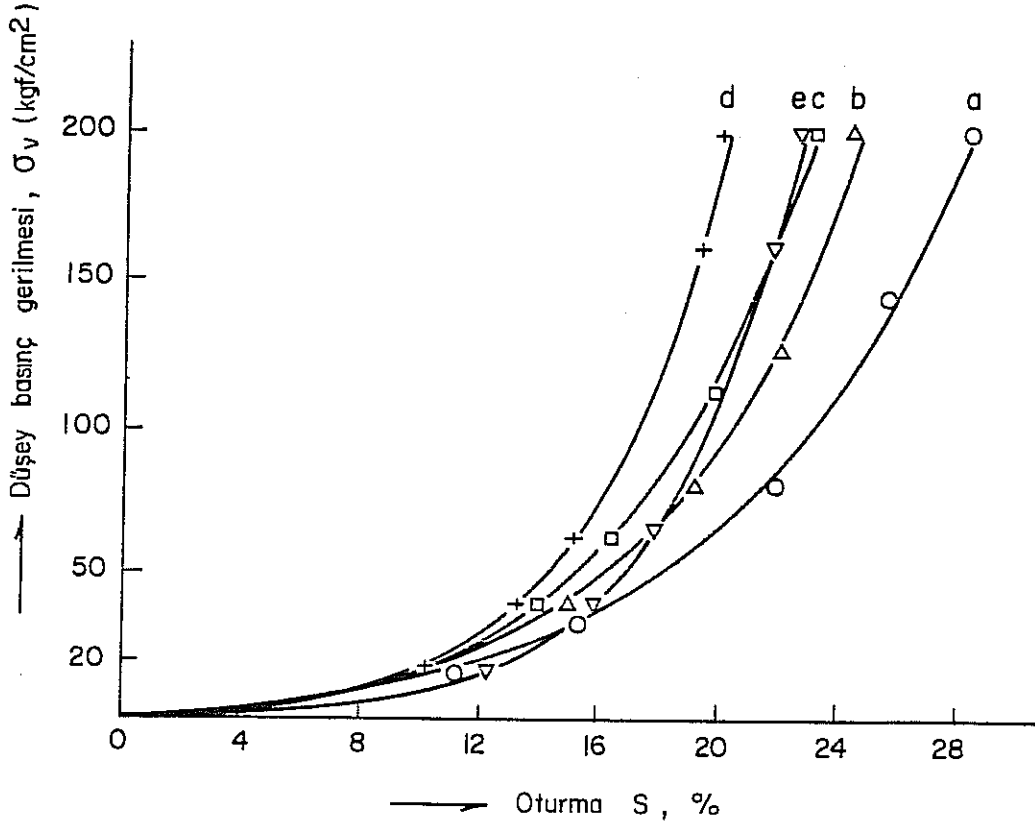
Şekil 26. 3/8" altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş altı ince kırılmış silttaşı karışımları ile V no.lu silindirde yapılan sıkışabilirlik deneyleri eğrileri.

Tablo 12. 3/4" altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş (1 mm) altı ince kırılmış silttaşı karışımları ile II no.lu (D= 20.7 cm) silindirde yapılan sıkışabilirlik deneyleri sonuçları.

Malzeme, ağırlıkça (%)	-3/4" kırılmış kumtaşı	-18 meş kırılmış silttaşı	G <sub>d</sub> Hacim Özgünlüğü	γ <sub>f</sub> Gevşek Birim Hacim ağırlığı	Başlangıç (max) boşluk hacmi	Düşey basınç σ <sub>v</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) değerlerinde, oturma, S (%) ve oturma sıklığı D' (%) değerleri.						Sıkışma fonksiyonu (7) parametreleri				
						σ <sub>v</sub> = 50	σ <sub>v</sub> = 100	σ <sub>v</sub> = 150	σ <sub>v</sub> = 200	S	D'		S	D'	S	D'
100	-	-	2.544	1.42	44.2	18.0	27.9	23.2	38.1	26.4	45.2	28.7	50.8	182.4	0.494	0.998
85	15	-	2.555	1.50	41.2	16.1	27.4	20.4	36.6	23.1	42.9	25.1	47.9	228.2	0.461	0.998
70	30	-	2.566	1.59	37.9	15.3	29.6	19.2	38.9	21.6	45.1	23.4	50	220.0	0.441	0.997
60	40	-	2.562	1.72	32.8	14.2	33.9	17.2	42.5	19.1	48.0	20.5	52.8	209.6	0.395	0.999
50	50	-	2.57	1.64	36.2	16.8	35.6	19.8	43.5	21.7	48.8	23.0	52.6	193.0	0.348	0.998

Tablo 13. 3/4" altı kırılmış Kumtaşı ve 18 meş altı ince kırıl-  
silttaşı karışımlarının sıkışabilirlik deneyle-  
lerinde yanal itme ve elâstik değerler.

Malzeme ağırlıkça % 3/4" altı 18 meş al- kırılmış tı ince kumtaşı kırılmış silttaşı		Düşey basınç $\sigma_v$ kgf/cm <sup>2</sup>	Yanal itki $\sigma_h$ kgf/cm <sup>2</sup>	Ko	Poisson oranı	Deformasyon teget modülü DM kgf/cm <sup>2</sup>	Elastik Kabarma $\epsilon_{el}$
100	-	50	17.1	0.342	0.25	725.0	
		100	39.1	0.391	0.28	1300.0	
		150	60.8	0.405	0.29	1875.0	
		200	84.0	0.42	0.29	2499	0.9
35	15	50	19.0	0.38	0.27	868	
		100	40.0	0.40	0.28	1525	
		150	64.0	0.43	0.30	2165	
		200	90.0	0.45	0.31	2859	1.1
70	30	50	24.0	0.48	0.32	955	
		100	46.0	0.46	0.31	1715	
		150	68.0	0.45	0.31	2466	
		200	92.0	0.46	0.31	3380	1.3
60	40	50	23.0	0.46	0.31	1198	
		100	47.0	0.47	0.32	2160	
		150	71.0	0.47	0.32	3146	
		200	95.0	0.47	0.32	4188	1.4
50	50	50	24.0	0.48	0.32	1180	
		100	48.0	0.48	0.32	2183	
		150	75.0	0.50	0.33	3238	
		200	105.0	0.52	0.34	4271	1.3



Malzeme :

Karışım ağırlıkça %

	a	b	c	d	e
-3/4" Kırılmış kumtaşı	100	85	70	60	50
-18 meş ince kırılmış silttaşı	-	15	30	40	50

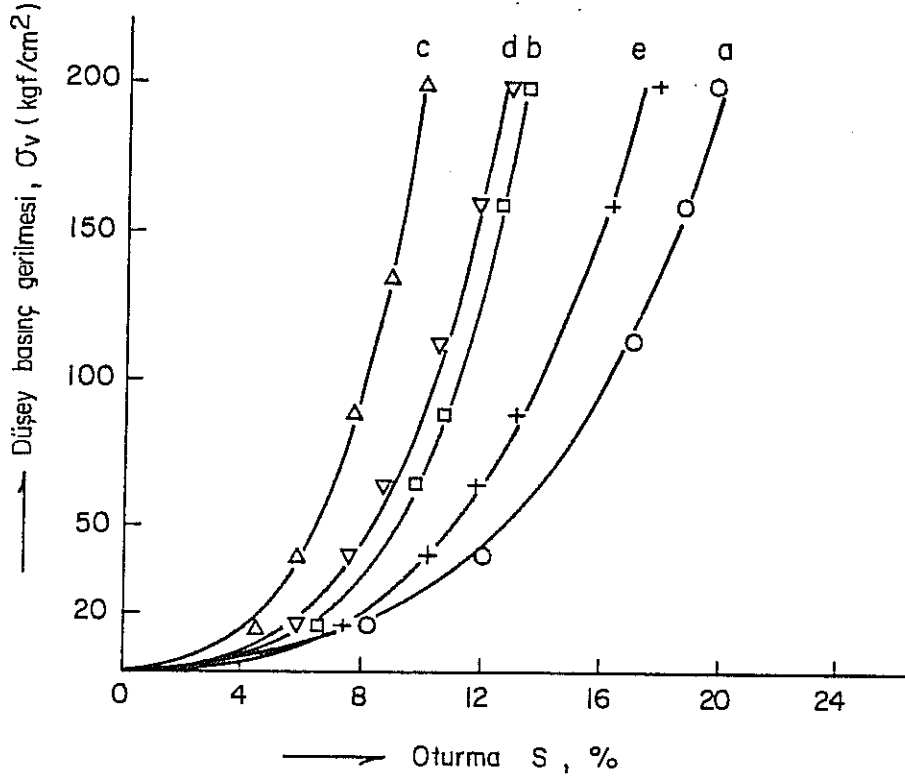
Şekil 27. 3/4" altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş (1 mm) altı ince kırılmış silttaşı karışımları ile yapılan sıkıştırma deneylerinden elde edilen sıkışabilirlik eğrileri.

Tablo 14. 3/4" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları ile II. no.lu (D= 20.7 cm) silindirde yapılan sıkışabilirlik deneyleri sonuçları.

Malzeme, ağırlıkça (%) Kırılmış Kumtaşı Çates külü	Hacim Özgürlük G <sub>d</sub> ağırlığı	Gevşek Birim Hacim ağırlığı $\gamma_F$ g/cm <sup>3</sup>	Başlangıç (max) boşluk hacmi $n_A$ (%)	Düşey basınç $\sigma_v$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) değerlerinde, oturma, S (%) ve oturma sıklığı D, (%) değerleri						Sıkışma fonksiyonu (7) parametreleri $r^2 =$ determinasyon katsayısı $\sigma_0$ N $r^2$ (kgf/cm <sup>2</sup> )				
				$\sigma_v = 50$	$\sigma_v = 100$	$\sigma_v = 150$	$\sigma_v = 200$	S	D		S	D		
90	2.47	1.55	37.2	12.7	24.6	16.2	32.7	18.5	38.4	20.2	42.8	343.0	0.452	0.997
80	2.40	1.64	31.7	9.2	21.8	11.2	27.1	12.5	30.4	13.4	33.3	1167.4	0.338	0.999
70	2.34	1.65	29.5	6.5	17.0	8.1	21.6	9.2	24.8	10.0	27.2	2325	0.360	0.996
60	2.28	1.44	36.8	8.4	15.7	10.4	19.9	11.7	22.7	12.7	25.0	2276	0.352	0.995
0	1.97	1.02	48.2	11.3	13.7	14.1	17.6	16.0	20.5	17.4	22.6	1770	0.369	0.995

Tablo 15. 3/4" altı kırılmış kumtaşı ve Çates Külü karışımlarının sıkışabilirlik deneylerinde yanıl itme ve elastik değlerler.

Malzeme, ağırlıkça, (%)		Düşey	Yanal		Poisson	Deformasyonun teget modülü	Elastik Kabarma
3/4" altı Kırılmış	Çates Külü	basınç $\sigma_v$ kgf/cm <sup>2</sup>	itki $\sigma_h$ kgf/cm <sup>2</sup>	Ko	Oranı $\mu$	DM kgf/cm <sup>2</sup>	$\epsilon_{el}$ (%)
90	10	50	22.8	0.46	0.32	1084	
		100	42.3	0.42	0.30	1835	
		150	73.5	0.49	0.33	2578	
		200	98.0	0.49	0.33	3319	0.9
80	20	50	25.3	0.51	0.34	1886	
		100	51.0	0.51	0.34	3313	
		150	76.5	0.51	0.34	4618	
		200	102	0.51	0.34	5840	1.1
70	30	50	24.2	0.48	0.33	2369	
		100	52.0	0.52	0.34	4003	
		150	81.3	0.54	0.35	5531	
		200	110.0	0.55	0.35	6904	1.3
60	40	50	25.5	0.51	0.34	1895	
		100	53.0	0.53	0.35	3219	
		150	82.0	0.55	0.35	4394	
		200	110.0	0.55	0.35	5511	1.0
-	100	50	24.4	0.49	0.33	1360	
		100	53.0	0.53	0.35	2292	
		150	85.5	0.57	0.36	3154	
		200	121.0	0.61	0.38	3943	1.0



Malzeme :	Karışım ağırlıkça, %				
	a	b	c	d	e
-3/4" Kırılmış kumtaşı	90	80	70	60	-
Çates Külü	10	20	30	40	100

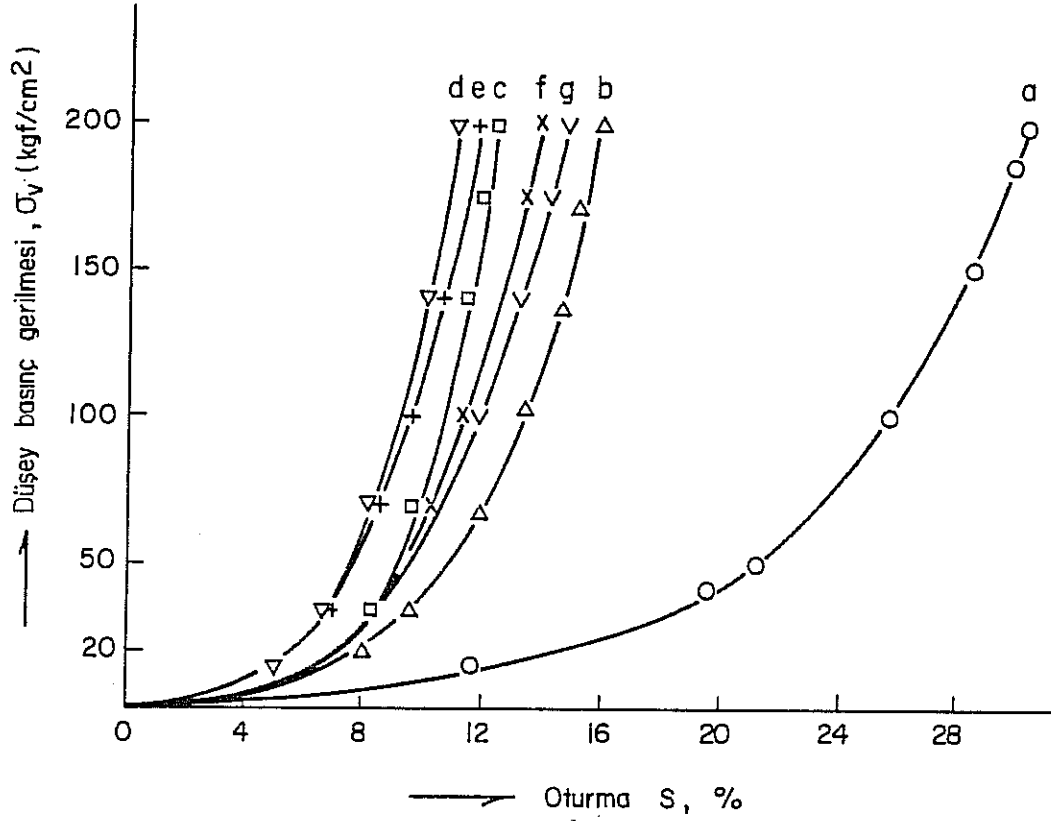
Şekil 28. 3/4" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları ile yapılan sıkıştırma deneylerinden elde edilen sıkışabilirlik eğrileri.





Tablo 17. 1<sup>1</sup>/<sub>8</sub>" altı kırılmış Kumtaşı ve Çates Külü Karışımlarının sıkışabilirlik deneylerinde yanal itme ve elastik değerler

Malzeme ağırlıkça, (%) 1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> " altı Çates kırılmış Külü Kumtaşı	Düşey basınç $\sigma_v$ Kgf/cm <sup>2</sup>	Yanal itki $\sigma_h$ kgf/cm <sup>2</sup>	Ko	Poisson oranı $\mu$	Deformasyon teget modülü $D_m$ kgf/cm <sup>2</sup>	Elastik Kabarma $\epsilon_{el}$ (%)	
100	-	50	28.5	0.57	0.36	810	
		100	48.0	0.48	0.32	1493	
		150	72.0	0.48	0.32	2176	
		200	96.0	0.48	0.32	2910	0.8
80	20	50	27.3	0.55	0.35	1520	
		100	51.7	0.52	0.34	2661	
		150	79.5	0.53	0.35	3727	
		200	106.0	0.53	0.35	4714	1.0
70	30	50	24.7	0.49	0.33	2739	
		100	53.0	0.53	0.35	4584	
		150	80.2	0.53	0.35	6521	
		200	107.2	0.54	0.35	8257	1.4
60	40	50	27.5	0.55	0.35	2180	
		100	56.0	0.56	0.36	3595	
		150	82.5	0.55	0.35	4947	
		200	110.0	0.55	0.35	6203	1.3
50	50	50	29.5	0.59	0.37	2005	
		100	58.1	0.581	0.37	3343	
		150	84.0	0.56	0.36	4571	
		200	112.6	0.56	0.36	5734	1.4
35	65	50	27.5	0.55	0.35	1776	
		100	56.7	0.57	0.36	3010	
		150	85.9	0.57	0.36	4145	
		200	114.4	0.57	0.36	5262	1.0
20	80	50	29.0	0.58	0.37	1558	
		100	59.0	0.59	0.37	2542	
		150	89.5	0.60	0.38	3469	
		200	120.5	0.60	0.38	4338	0.9



Malzeme :

Karışım ağırlıkça %

	a	b	c	d	e	f	g
-1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> " Kırılmış Kumtaşı	100	80	70	60	50	35	20
Çates Külü	-	20	30	40	50	65	80

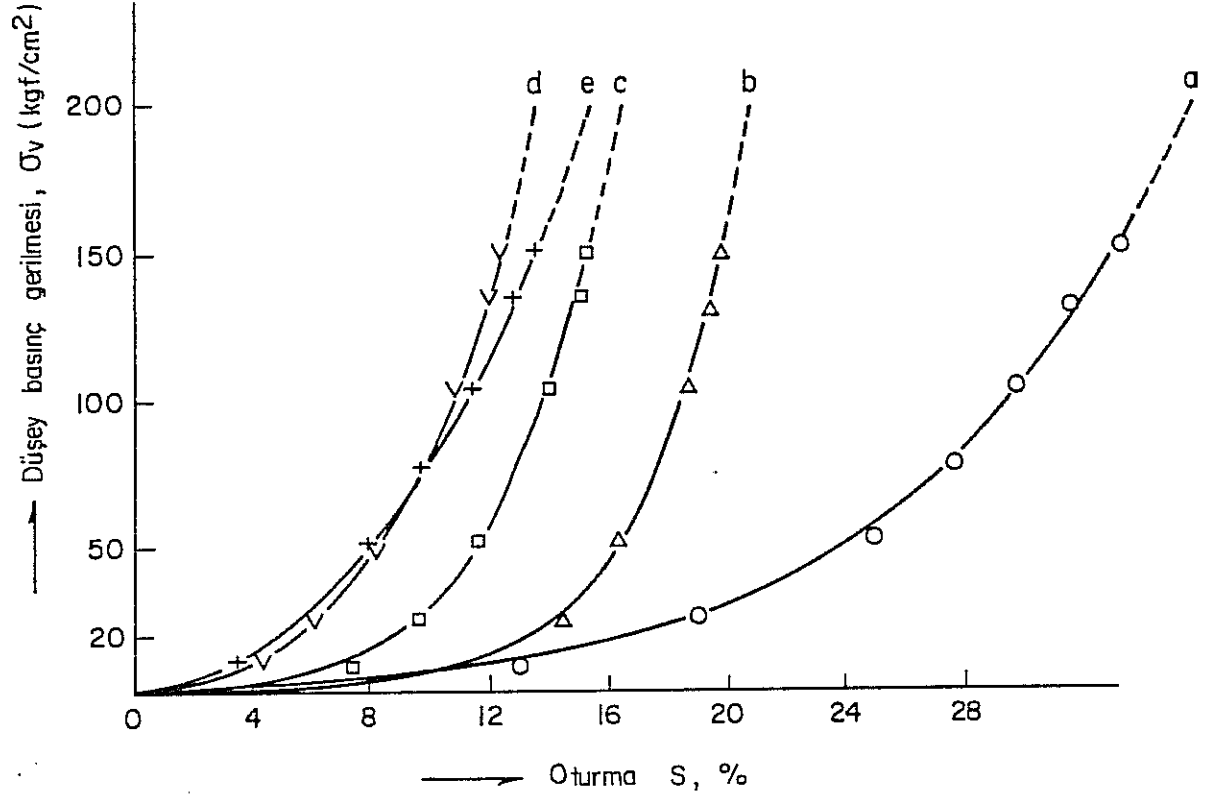
Şekil 29. 1<sup>1</sup>/<sub>8</sub>" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları ile yapılan sıkıştırma deneylerinden elde edilen sıkışabilirlik eğrileri.

Tablo 18. 1<sup>1/2</sup>" altı kırılmış Kumtaşı ve Çates Külü karışımları ile IV nö. lu  
(D = 36.0 cm) silindirde yapılan sıkışabilirlik deneyleri sonuçları.

Malzeme ağırlıkça (%) 1 <sup>1/2</sup> " kırılmış Kumtaşı Çates Külü	G <sub>D</sub> Hacim Özgürlüğü	G <sub>F</sub> Gevşek Birim Hacim Ağırlığı gram/cm <sup>3</sup>	Başlangıç (max) Boşluk hacmi (%)	Düşey basınç v (kgf/cm <sup>2</sup> ) değerlerinde oturma, S (%) ve oturma sıklığı D (%) değerleri				Sıkışma fonksiyonu (7) parametreleri r <sup>2</sup> - determinasyon Katsayısı						
				σ <sub>v</sub> = 50	σ <sub>v</sub> = 100	σ <sub>v</sub> = 150	σ <sub>v</sub> = 200							
				S	D	S	D	S	D	σ <sub>v</sub>	N	r <sup>2</sup>		
100	-	2.542	47.7	23.4	33.5	29.7	46.3	33.5	55.2	36.0	61.7	104.4	0.532	0.994
70	30	2.34	35.5	16.4	35.6	18.6	42.8	20.0	45.4	20.9	48.0	308.0	0.264	0.999
60	40	2.28	36.4	11.5	22.7	13.9	28.2	15.4	31.8	16.5	34.6	926.0	0.330	0.999
50	50	2.22	39.2	8.2	13.8	10.6	18.4	12.3	21.7	13.7	24.6	1388.0	0.437	0.995
40	60	2.165	42.7	8.0	11.6	11.2	16.9	13.6	21.1	15.5	24.6	840.0	0.558	0.998

Tablo 19. 1<sup>1/2</sup>" altı kırılmış Kumtaşı ve Çates Külü Karışımlarının sıkışabilirlik deneylerinde yanıl itme ve elastik değlerler.

Malzeme, ağırlıkça (%)	Düşey basınç $\sigma_v$ kgf/cm <sup>2</sup>	Yanal itki $\sigma_h$ kgf/cm <sup>2</sup>	Ko	Poisson oranı $\mu$	Deformasyon teget modülü Dm kgf/cm <sup>2</sup>	Elastik Kabarma $\epsilon_{el}$ (%)
1 <sup>1/2</sup> " altı Çates Kırılmış Külü Kumtaşı	50.0	30.0	0.6	0.38	571	
	100.0	45.8	0.46	0.32	1066	
	150.0	61.5	0.41	0.29	1636	
	200.0	82.0	0.41	0.29	2262	1.2
70 30	50.0	26.0	0.52	0.34	1610	
	100.0	49.0	0.49	0.33	3008	
	150.0	73.5	0.49	0.33	4459	
	200.0	98.0	0.49	0.33	5749	1.5
60 40	50.0	25.3	0.51	0.34	1578	
	100.0	51.0	0.51	0.34	2823	
	150.0	78.0	0.52	0.34	3971	
	200.0	104.0	0.52	0.34	5064	1.6
50. 50	50.0	21.7	0.43	0.30	1584	
	100.0	51.0	0.51	0.34	2511	
	150.0	79.5	0.53	0.35	3357	
	200.0	108.3	0.54	0.35	4200	1.6
40 60	50.0	27.0	0.54	0.35	1248	
	100.0	53.8	0.54	0.35	1861	
	150.0	81.7	0.55	0.35	2421	
	200.0	-	-	-	2945	1.6



Malzeme :	Karışım ağırlıkça %				
	a	b	c	d	e
- 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " Kırılmış Kumtaşı	100	70	60	50	40
Çates Külü	-	30	40	50	60

Şekil 30. 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" altı kırılmış kumtaşı ve Çates Külü karışımları ile yapılan sıkıştırma deneylerinden elde edilen sıkışabilirlik eğrileri.

#### 7.4. KARIŞIMLARLA YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

1) Daha önce model karışım ile yapılmış olan deneylerde elde edilen sonuçlar ile çeşitli karışım serileri ile yapılan deneylerde elde edilen sıkışma özellikleri uyum içindedir.

Eşitlik 7 ile verilen Liberman ve Mal'kova'nın sıkışma fonksiyonu verilere büyük uyum göstermektedir ( $0.99 \leq r^2 \leq 1$ ),

Artan sıkışma gerilmesi ( $\sigma_v$ ) ile, çevredeki yanallitki ( $\sigma_h$ ) dağılımı az farklılaşmaya doğru gitmekte, diğer bir deyişle malzeme içinde gerilme dağılımı daha homojen olmaktadır.

Model dolgu malzemesi deneyleri sonuçlarını doğrulayan bu sonuçlara ilave olarak, malzemenin içinde ince tane fraksiyonu artarsa:

1° Gerilme dağılımı daha homojen olmaktadır.

2° Yanallitki ( $\sigma_h$ ) artmaktadır.

Örnek olarak, 3/4" artı kırılmış kumtaşı ve Çates küllü karışımlarını izleyelim:

Malzeme ,  
ağırlıkça %

Kırılmış Kumtaşı	Çates Külü	Yanal itki $\sigma_h$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Yanal itki oranı Ko	Pisson oranı $\mu$	$\frac{\Delta\epsilon = \epsilon_{max} - \epsilon_{min}}{\epsilon_{av} = \sum_{i=1}^4 \epsilon_i / 4}$
90	10	98.0	0.49	0.329	0.7
80	20	102.0	0.51	0.338	0.45
70	30	110.0	0.55	0.355	0.40
-	100	121.0	0.605	0.377	0.30

Çevredeki en büyük birim deformasyon farkının ( $\Delta\epsilon$ ) ortalama değere ( $\epsilon_{av}$ ) oranı kül miktarı arttıkça düşmektedir. Gerilme dağılımı homojen olmaktadır.

Kül miktarı arttıkça, yanal itki ve 3 eşitliğine göre, Poisson oranı artmaktadır.

İnce malzeme, iri tanelerin üzerinden kaydığı bir ortam sağlamakta ve malzeme sıvısal davranış benzerliği göstermektedir.

İnce malzemedен yoksun iri taneli malzeme ise sıkışıp pekişmekte ve katılaşmaya doğru gitmektedir.

2) Üniform derecelenmiş iri taneli malzemede kırıklanma çok olmaktadır. İnce tane fraksiyonu arttıkça kırıklanma azalmaktadır.



EK.B.de Şekil B.13 den Şekil B.20'ye kadar tane boyu dağılımları izlendiğinde karışımın sıklığı en fazla veya iri taneler içinde ince malzeme oranı optimum düzeyde olduğunda kırılanmanın en düşük seviyeye indiği görülmektedir.

Sıkışmadan sonra, tane boyu dağılım eğrileri daha gerginleşmektedir.

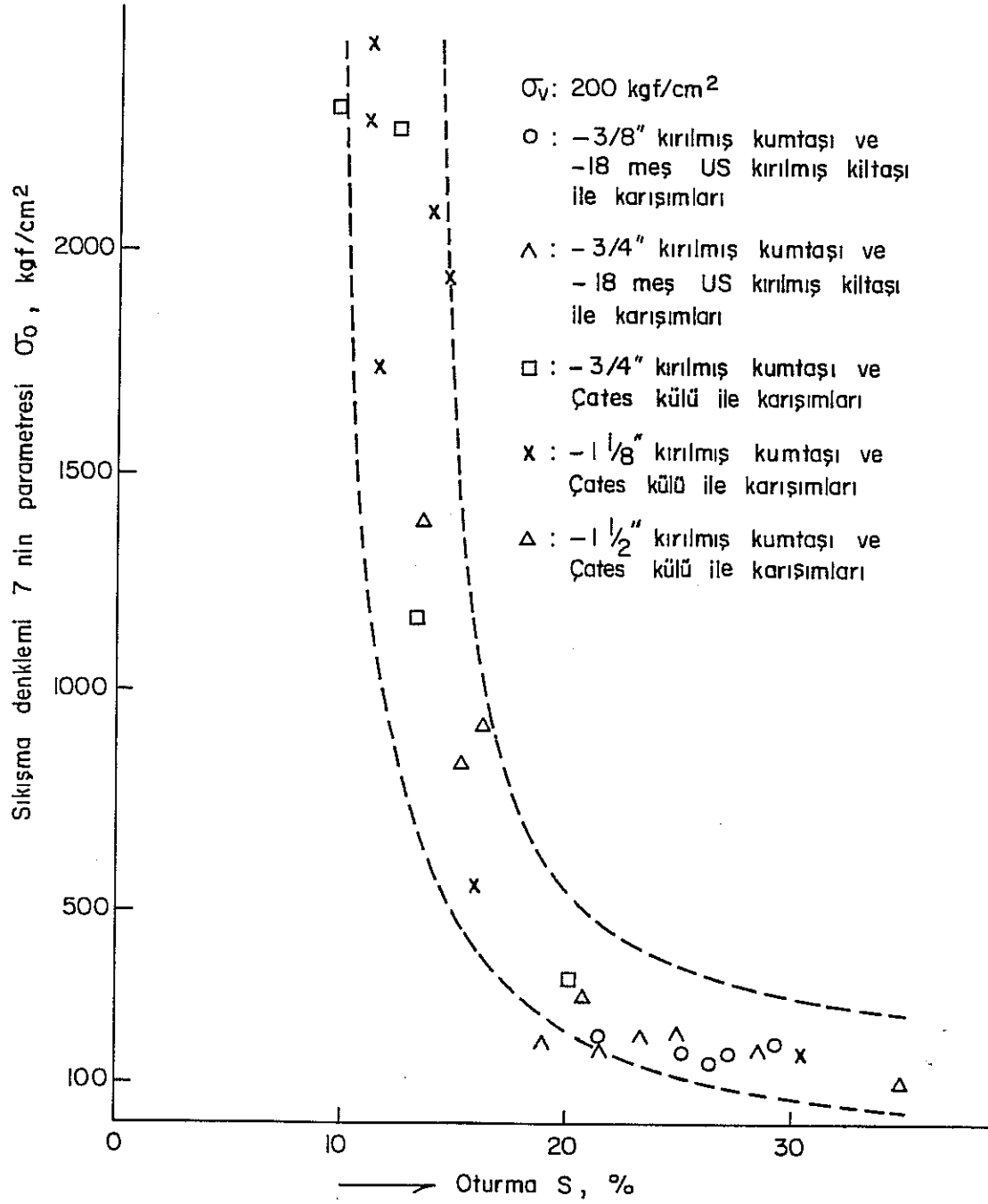
3) Sıkıştırma deneyleri sonuçları tabloları incelendiğinde sıkışma fonksiyonu parametresi " $\sigma_o$ " ile sıkışma değerleri arasında ilginç ilişki görülebilir. Az sıkışan malzemelerde " $\sigma_o$ " değerleri yükselmektedir.

Bütün deneylerin  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  değerinde, oturma (S %) değerleri Şekil 31 de görülmektedir.

Dağılım bir hiperbol çerçevesindedir.

Artan  $\sigma_o$  değerleri ile, S oturma değerlerinin asimtotik olarak uzanması, herhangi bir basınç seviyesinde (örnek olarak  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$ ) granüler malzemelerin belli bir sıkışma seviyesinin altına sıkışamayacaklarını gösterir.

Yani, bir granüler malzemenin tane boyu dağılımı ve kompozisyonu ne kadar geliştirilirse geliştirilsin belli bir basınç seviyesinde belli bir sıkışma değerinin altına inilememektedir.



Şekil 31. Dolgu malzemelerinin  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  sıkıştırma basıncında, fonksiyon parametresi  $\sigma_0$  - oturma S ilişkisi.

3/4" altı kırılmış kumtaşı ve 1<sup>1</sup>/8" altı kırılmış kumtaşının Çates külü ile karışımlarında, hiperbolün asimtotik uzanan dalında değerler elde edilmesi, bu karışım malzemelerinin en az sıkışan malzeme modelleri olduklarını gösterir.

4) Daha önce belirtildiği gibi, az sıkışabilir malzemenin yoğun ve az boşluk hacmi içeren malzeme tipinde olması genel ve kabul edilen yarıdır.

Dr. Helms. 20 Mpa lık bir yüklemde erişilen oturma,  $S_{20}$ , ile başlangıç dolgu birim hacim ağırlığı  $(\gamma_f)_A$  arasında bağlantı bulmuştu (Eşitlik 15.)

O halde, boşluk hacmi en düşük veya en yüksek birim hacim ağırlığına sahip malzemenin en az sıkışan malzeme olması gerekir.

Tablolarda deney sonuçları verilen tek eksenli kapalı sıkıştırma deneylerinde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri ve sonuçlar karşılaştırılırsa bu görüşün her zaman geçerli olmadığı anlaşılır. Örnek olarak, model dolgu karışımı ile yapılan ilk seri deneylerde,  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  değerinde sıkıştırma basıncı altında karışım,  $S = 19 \%$  civarında bir oturma vermişti. Model dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığı ortalama  $(\gamma_f)_A = 1.71 \text{ grm/cm}^3$  olup, boşluk hacmi,  $n_A = 31.9 \%$  değerindedir. Çates külü ise, ortalama

$(\gamma_f)_A = 1.02 \text{ grm/cm}^2$  birim hacim ağırlığına ve  $n_A = 48.2 \%$  boşluk hacmine sahip iken,  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  sıkıştırma basıncında,  $S = 17 \%$ , değerinde sıkışma vermiştir. Bu sonuç, birçok araştırmacı tarafından verilen yukardaki yargıya zıt bir sonuçtur.

$1\frac{1}{8}$ " altı kırılmış kumtaşı ve Çates Külü karışımları ile yapılan deney serisinde üç deney aşağıda verilmiştir.

Malzeme	a	b	c
$1\frac{1}{8}$ " altı kırılmış kumtaşı, ağırlıkça (%)	70	40	50
Çates Külü, ağırlıkça (%)	30	60	50
Birim hacim ağırlığı, $(\gamma_f)_A \text{ grm/cm}^3$	1.64	1.53	1.42
Boşluk hacmi, $n_A$ (%)	29.9	32.9	36.0
$\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$ gerilme altında oturma, S (%)	12.5	11.3	11.9

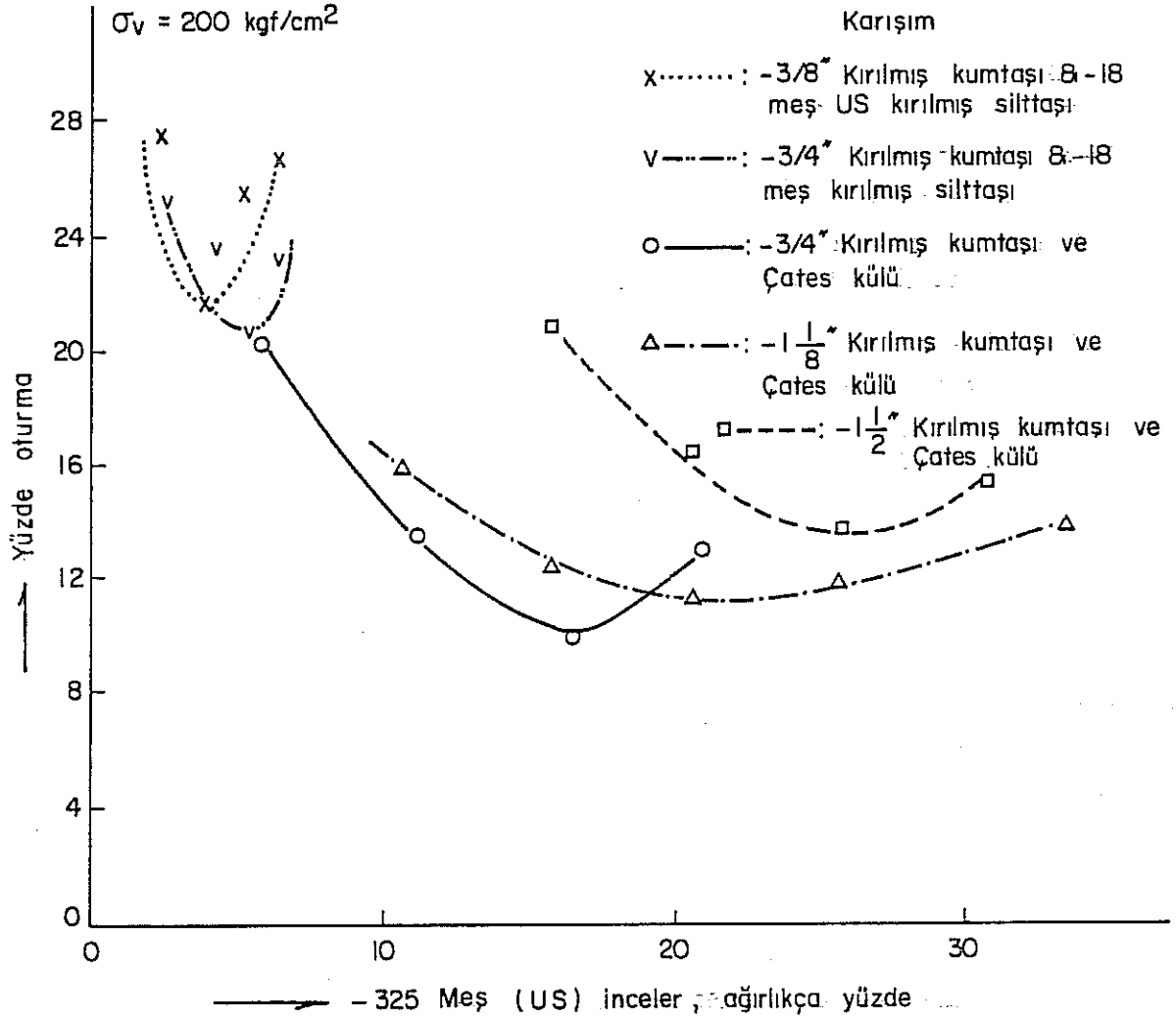
Görüldüğü üzere, serinin üç deneyinde kullanılan malzeme müteakip artan kül miktarı ile tane boyu dağılımı, birim hacim ağırlığı ve boşluk oranı değiştiği halde,  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  sıkışma basıncı altında birim oturma, S %, değerlerinde önemli fark izlenmektedir.  $1\frac{1}{8}$ " altı kırılmış kumtaşı ve Çates Külü karışımları tane boyu dağılım eğrilerinde bu bölge taranmıştır (Ek.B. Şekil B.21).

5) İnce malzeme fraksiyonunun miktarı ile birim oturma veya sıkışma, S %, değerleri arasında ilişki izlenebilir. İnce malzeme olarak,  $43 \mu\text{m}$  (325 meş) altı tane boyuna sahip malzeme

alınırsa, Şekil 32. ' de deneyleri yapılan karışımların 43  $\mu\text{m}$  altı tane fraksiyonu ağırlıkça yüzdesi ile  $\sigma_v=200 \text{ kgf/cm}^2$  lik sıkışma gerilmesi altında oturma, S %, değerleri ilişkisi görülmektedir.

Aşağıda, sıkıştırılan karışımların ilgili değerleri verilmektedir:

Malzeme	Ağırlıkça %			
-3/8" kırılmış kumtaşı	85	70	60	50
-18 meş kırılmış silttaşı	15	30	40	50
$C_u$ katsayısı	30	77	27	21
Boşluk hacmi, $n_A$ , %	41	34.8	38.4	39
-43 $\mu\text{m}$ , ağırlıkça %	2.4	3.9	5.2	6.5
Oturma, S %, ( $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$ )	27.3	21.6	25.3	26.4



Şekil 32. Deneyleri yapılan karışımların,  $43 \mu\text{m}$  fraksiyonu ağırlıkça yüzdesi ve  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  lik sıkıştırma basıncı altında oturması, S %.

Malzeme	Ağırlıkça %				
-3/4" kırılmış kumtaşı	85	70	60	50	
-18 meş kırılmış silttaşı	15	30	40	50	
C <sub>u</sub> katsayısı	52	74	78.9	48	
Boşluk hacmi, n <sub>A</sub> %	41.2	37.9	32.8	36.2	
-43 µm, ağırlıkça %	2.6	4.2	5.4	6.4	
Oturma, S % ( $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$ )	25.1	23.4	20.5	23.0	
-3/4" kırılmış kumtaşı	90	80	70	60	
Çates Külü	10	20	30	40	
C <sub>u</sub> katsayısı	122.1	300	344.7	380	
Boşluk hacmi, n <sub>A</sub> %	37.2	31.7	29.5	36.8	
- 43 µm, ağırlıkça %	5.8	11.1	16.5	20.9	
Oturma, S % ( $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$ )	20.2	13.4	10.0	12.7	
- 1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> " kırılmış kumtaşı	80	70	60	50	35
Çates külü	20	30	40	50	65
C <sub>u</sub> katsayısı	392	520	585	409	9
Boşluk hacmi, n <sub>A</sub> %	31.6	29.9	32.9	36.0	38.
- 43 µm ağırlıkça %	10.6	15.8	20.6	25.6	33.
Oturma, S % ( $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$ )	16.0	12.5	11.3	11.9	14.
-1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " kırılmış kumtaşı	70	60	50	40	
Çates külü	30	40	50	60	
C <sub>u</sub> katsayısı	780	1000	778.4	10	
Boşluk hacmi, n <sub>A</sub> %	35.5	36.4	39.2	42.7	
- 43 µm, ağırlıkça %	15.7	20.5	25.6	30.7	
Oturma, S % ( $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$ )	20.9	16.5	13.7	15.5	

-43  $\mu$  fraksiyonu, ağırlıkça % 16 değerine ulaşınca-ya kadar karışımların sıkışmasını kontrol eden faktör, sıklıkları veya birim hacim ağırlıkları olmaktadır. 3/8" altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş altı kırılmış silttaşı, 3/4" altı kırılmış kumtaşı ve 18 meş altı kırılmış silttaşı karışımlarında en yüksek birim hacim ağırlığına yani en az boşluk hacmine sahip karışım, en az oturma, S % değerine sahiptir. O halde bu karışımların tane boyu dağılımları  $m = 0.3$  değerli Talbolt dağılımına yaklaştıkça ve  $C_u$  katsayısı  $C_u = 300$  değerine yaklaştıkça oturma azalmaktadır.

$S = (d/d_{\max})^m$  Talbolt dağılımında,  $d_{\max} = 19.0$  mm ve  $m = 0.3$  değerleri verilirse,  $d = 43 \mu\text{m}$  için  $S = 16$  % elde edilir. Bu koşullara en çok yaklaşan, 3/4" altı (19.0 mm altı) kırılmış kumtaşı (ağırlıkça % 70) ve Çates Külü (ağırlıkça % 30) karışımı en az boşluk hacmi ve en az sıkışma ( $S = 10$  %,  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$ ) değeri almaktadır.

İnce tane fraksiyonu, -43  $\mu\text{m}$ , miktarı ağırlıkça % 16 yı aştığı zaman ince tanelerin mekaniği sıkışmayı kontrol etmektedir. İnce malzeme basınç altında sıvısal davranış göstermektedir. İri tanelere yüzdürmeye benzer etki vererek, temas noktalarını azaltmaktadır.

1 1/8" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü, 1 1/2" altı kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları serilerinde,  $n_A \cong \% 47$  ve  $n_A \cong \% 48$  boşluk hacimleri içeren kırılmış kumtaşlarına % 40- % 50 ağırlıkça kül karıştırılması ile boşlukları kül ile doldurulmaktadır.

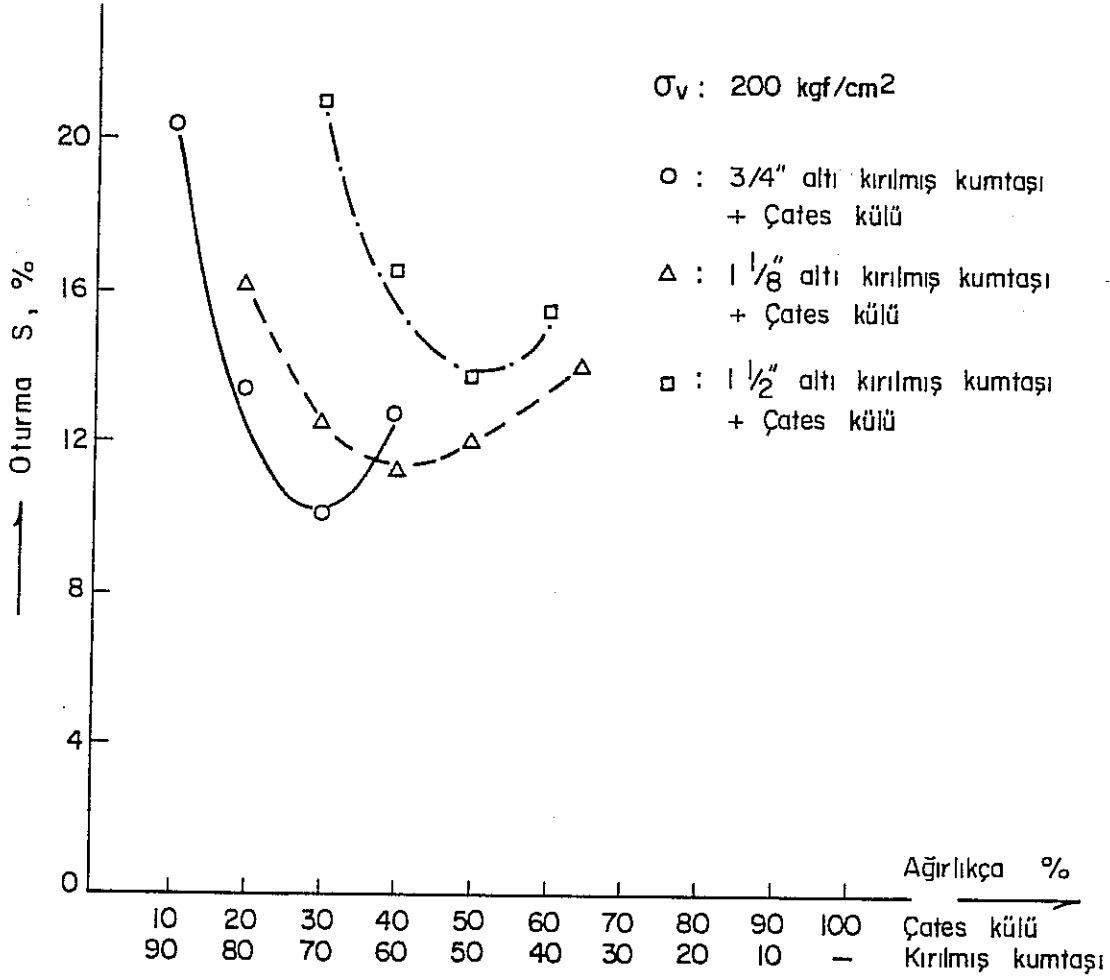


Böylece, çok yüksek sıkışma değerleri veren kırılmış kumtaşı malzemesi, boşlukları sıvı ile doldurulmuş bir malzeme davranışına girerek, sıkışması çok düşük seviyelere inmektedir.

Karışımında, kül miktarı kırılmış kumtaşını aşınca, karışım, içinde taş tanecikleri bulunan kül davranışını göstermektedir, ve kırılmış kumtaşı azaldıkça safi külün davranışına doğru yaklaşmaktadır.

Şekil 33. de,  $3/4''$ ,  $1^{1/8}''$  ve  $1^{1/2}''$  altı kırılmış kumtaşları ve Çates külü karışımları serilerinde,  $\sigma_v=200 \text{ kgf/cm}^2$  lik sıkıştırma gerilmesi altında, oturma (sıkışma), S %, değerleri verilmektedir.

Serilerde minimum oturma veren karışımlar izlendiğinde,  $3/4''$  altı kırılmış kumtaşı, ağırlıkça % 70 ve Çates külü ağırlıkça % 30 karışımının en az oturma değerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 33. Kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışım serilerinin  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  düşey basınç altında sıkışma, S %, değerleri.

## 8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Zonguldak'da tasman sorununu belirli ölçüde önlemek için yapılacak rambleyaja en uygun dolgu malzemesi etüdü çerçevesinde yapılan araştırmada varılan sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

1) Kullanılacak dolgu malzemesinin, elde edilmesi kolay, ucuz ve bol olması ekonomik yönden zorunludur.

Zonguldak havzasında malzeme etüdünde, ocakta yapılan hazırlık çalışmalarında çıkan ocaktaşı, lavuar artıkları ve Çates (Çatalağzı Termik Santrali) küllerinin pnömatik ramble için kuru malzeme olarak kullanılabilirleri anlaşılmıştır.

2) Tasmanın önlenmesinde ve bir dolgulu işletmede etkinlik, kullanılan dolgu malzemesinin cins ve evsafı kadar, uygulanan madencilik tekniğine de bağlıdır.

Yürüyen veya hidrolik demir direk ve çelik sarmalı tahkimat, mekanize kazı ve hızlı ilerleme dolgudan elde edilecek yararları bütünleyecektir.

3) Laboratuvarda, çeneli kırıcı ile kırılan kumtaşı ve lavuar artığı (silttaşı) malzemelerinin kırıcıdan çıkış ürünleri, tane şekillenmesi yönünden büyük farklılık göstermiş ve şekil faktörleri özellikle iri tanelerde 3-4 gibi rakamlara ulaşmıştır (Tablo 4.).

Bir dolgu malzemesinin gerek taşınması ve gerekse yerinde sıkılığı yönünden, şekil faktörleri 1'e yakın tanelerden oluşması istenir.

Malzemenin çekiçli kırıcı ile kırılması önerilmektedir.

4) Yerinde, boşluk hacmi az, yoğun malzeme araştırmalara konu olmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuca göre  $m = 0.3$  değerli Talbott tane boyu dağılımına uyan malzeme en az boşluk hacmine sahip malzeme olmaktadır.

5) Geliştirilen tek eksenli kapalı sıkıştırma deney sistemi olumlu sonuç vermiştir. Malzemenin düşey yük altında sıkışması ve aynı zamanda yanall itki tesbit edilebilmiş ve sonuçlar açık ve net şekilde değerlendirilmiştir.

Bu tür deneylerde, deney sonuçlarının deney silindirisinin geometrisinden ve cidar sürtünmesinden bağımsız olması için, silindir içinde dolgu yüksekliğinin (H) silindir iç çapına (D) oranının 2 den küçük ve yine silindir iç çapının (D), malzemenin en büyük tane boyunun ( $d_{max}$ ), en az 8-10 katı olması kriterleri getirilmiştir.

İleride yapılacak, dolgu malzemelerinin mekanik davranışlarının laboratuvarında etüdü ile ilgili çalışmalarda sistem, kullanılabilir ve mevcut bir yöntem olarak araştırmacıların hizmetinde olacaktır.

6) İnce tane fraksiyonunun ( $-43\mu\text{m}$ ) miktarının dolgu malzemesinin mekanik davranışı üzerinde tesirinin önemi ilk defa bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

İnce malzeme miktarı çok az, üniform dağılmış iri taneli malzeme (Kırılmış Kumtaşları, Şekil B.1-B.8, Ek.B) çok sıkışmakta, sıkışma esnasında kırıklanmakta ve katılaşmaktadır.

Malzemenin katılaşması, Poisson oranının ( $\mu$ ), artan basınçla düşmesi ile görülmektedir (Tablo 13, Tablo 17).

İlgili tablolardan izlenebileceği üzere artan ince tane miktarı ile katılaşma olayı kaybolmakta ve ince malzeme miktarı ( $-43 \mu\text{m}$ ), ağırlıkça % 16-20 değerine ulaşınca veya aşınca sıvısal (sıkıştırılmaz) etkisi göstermektedir. Poisson oranı ( $\mu$ ) değerlerinde asimtotik artış sıvılaşmayı göstermektedir. Ancak ince tane fraksiyonu, kil ihtiva etmeyen Çates külleri fraksiyonudur. Malzemede kil miktarı bulunması taneler arasında bağlayıcı etki gösterip katılaşmaya neden olmaktadır.

Karışımında bir miktar kil içeren lavuar taşı (silttaşı) mevcut model dolgu karışımı ile yapılan sıkıştırma deneylerinde katı davranış ve düşük Poisson oranı ( $\mu$ ) bu nedenle izlenmiştir (Tablo 9).

7) Granüler malzemelerin belli bir düşey sıkıştırma basıncı ( $\sigma_v$ ) seviyesinde sıkışma değerleri, S %, Liberman ve Mal'kova tarafından verilen sıkışma fonksiyonu (Eşitlik 7) parametresi  $\sigma_0$  (kgf/cm<sup>2</sup>) ye karşı bir hiperbol çerçevesinde dağılmaktadır (Şekil 31).

Bir dolgu malzemesinin (granüler malzeme) tane boyu dağılımı ve kompozisyonu ne kadar geliştirilirse geliştirilsin hiperbolün asimtotik olarak uzandığı belli bir sıkışma değerinin ( $S_{min}$  %) altına inilemeyeceği "önemli sonucu" ortaya çıkarılmıştır.

Az sıkışabilir bir dolgu modeli üzerinde çalışan bir araştırmacı, tek eksenli kapalı sıkıştırma deneyi yaparak, düşey sıkıştırma gerilmesi ( $\sigma_v$ ) altında ilk yüksekliğin yüzdesi olarak elde ettiği sıkışma değerleri (S %) ile sıkışma fonksiyonunu metinde belirtildiği şekilde en küçük kareler toplamı regresyon yöntemi ile bulabilir.

Sıkışma fonksiyonu parametresi,  $\sigma_0$  (kgf/cm<sup>2</sup>) değeri ile  $\sigma_v = 200$  kgf/cm<sup>2</sup> lik düşey sıkıştırma basıncı altında sıkışma değeri S (%) verilerini, Şekil 31 deki hiperbolde yerleştirirse ne dereceye kadar az sıkışabilir bir model geliştirdiğini anlayabilir.

8) Az sıkışabilir dolgu malzemesi modelleri üzerinde yapılan çalışmalarda, yüksek  $\sigma_0$  (kgf/cm<sup>2</sup>) değerine sahip mal-

zemin yüksek deformasyon teğet modülü (Dm) ile az sıkışabilme özelliği gösterdiği izlenmişti. Metinde, dolgunun madencilik açısından yeri anlatılırken yüksek modüle (Dm) sahip ve az sıkışabilir malzemenin topuk stabilitesi ve tasman yönünden önemi belirtilmişti. 3/4" altı kırılmış kumtaşı (ağırlıkça % 70) ile Çates külü (ağırlıkça % 30) ve 1 1/8" altı kırılmış kumtaşı (ağırlıkça % 60-70) ile Çates külü (ağırlıkça % 40-30) karışımları yukardaki koşulları sağlayan en uygun karışımlar olmaktadır (Şekil 33). Bu karışımların S % ( $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$ ) ve  $\sigma_o$  ( $\text{kgf/cm}^2$ ) değerleri Şekil 31. deki hiperbolün asimtotik uzanan dalı üzerinde yer aldığından karışımlar en az sıkışan dolgu modelleridir. Karışımlarda ince malzeme fraksiyonu ( $-43 \mu\text{m}$ ) miktarı, en az oturmayı veren optimum düzeydedir (Şekil 32). Ancak, ocaklarda toz sorunu ile kül malzemesinin taneciklerinin güç oturması sorunu vardır. Bu nedenle, en büyük tane boyu ( $d_{\text{max}}$ ), 3/4"-1 1/8" arasında olan kırılmış kumtaşı ağırlıkça % 75 olarak alınıp Çates külü ağırlıkça % 25 olarak alınabilir.

Dolguya bağlayıcı malzeme verebilmek için, ağırlıkça % 5 kadar ince lavuar artığı katılabilir.

Önerilen dolgu karışımları:

Malzeme	Ağırlıkça %	Yığın Hacim (m <sup>3</sup> )
(3/4" -1 <sup>1</sup> /8" ) altı kırılmış kumtaşı	75	691
Çates Külü	25	309
veya,	100	1000
(3/4" -1 <sup>1</sup> /8" ) altı kırılmış kumtaşı	70	658
Çates külü	25	316
İnce lavuar artığı	5	26
	100	1000

İnce malzemenin yaratacağı toz sorununu önleyebilmek için dolgu malzemesi su ile ıslatılır.

Etkili bir ıslatma için, 100 m<sup>3</sup>/saat lik bir ramble hacmine 50 litre/dakika lık su eklenmesi yeterlidir (3).

9) Metinde bir kısmının ismi verilen (Hustrulid, Helms, Benthaus v.b) araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalarda en az sıkışabilir dolgu karışımlarının  $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$  lik sıkıştırma basıncında S = 16-18 % oturma verdikleri izlenmiştir.



Bu çalışmada, aynı basınç seviyesinde, ( $\sigma_v = 200 \text{ kgf/cm}^2$ ) 10 % ile 15 % arasında oturma, S, gösteren karışımların geliştirilmesi konuya yeni bir adımdır.

Sıvısal (sıkıştırılmaz) mekanik davranışı gösterdiğinden temin edilebildiği takdirde dolgu karışımının içine optimum düzeyde katılabilecek ince aksam ( $-43 \mu\text{m}$ ) karışımı daha az sıkışabilir hale getirmektedir.

10) Çalışmada ulaşılan sonuçlar, laboratuvar koşullarında prototip bir yaklaşımla elde edilmiştir. Deneylerde bütün malzemeler en gevşek hallerinde sıkıştırmaya başlanmıştır.

Uygulamada, malzemenin taşındığı boru uzunluğu, çapı, püskürtme mesafesi ve açısı, malzeme çıkış hızı ve basıncı gibi faktörler etken olacaktır. Bu nedenle, yerinde dolgunun sıkılığı en gevşek durumda olmayacak fakat ne değerde olabileceği yerel koşullara bağlı olacaktır. Ayrıca, dolgunun homojen dağılımı ayrı bir sorundur. Prototip bir ön çalışmanın gerçekte ne dereceye kadar yeterli bir sonuç verdiği bir deneme panosu düzenleyerek etüd edilmelidir.

11) Yerinde dolgu malzemesinin yeraltı koşullarına göre suya doğun veya daha az su içerir duruma gelmesi, boşlukları sıvı ile dolmuş malzemeye yaklaşması sonucunu getirecektir ki, sıkışmasını dūřürücü yönde etki edecektir.

## ÖZET

Bu çalışma , Zonguldak'da tasmanı azaltmak için yapılacak rambleyaja en uygun dolgu malzemesinin etüdünü kapsamaktadır.

Dolgunun maden işletmeciliğinde önemi, tavan kontrolündeki fonksiyonu ana hatları ile belirtilmiştir.

Çalışmada etüd edilecek ramble malzemesi için, numuneler, ocaktaşı (Kozlu kumtaşı), lavuar artığı (silttaşı) ve Çates (Çatalağzı Termik Santrali) küllerinden alınmıştır.

Numunelerden deney dolgu malzemeleri hazırlanmış ve kırma eleme işlemleri ile tane boyu dağılımı, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, boşluk hacmi, tane şekillenmesi gibi fiziksel özellik ve büyüklüklerin bulunmasında kullanılan yöntemler tesbit edilip işlemler yapılmıştır.

En sıkı malzemenin granülometrik dağılımı araştırılmıştır, tek eksenli kapalı sıkıştırma deney sistemi geliştirilmiş, geliştirilen sistemde düşey sıkıştırma gerilmesi altında oturma bulunurken ince cidarlı silindirlere teorisine göre malzemenin yanall itkisi de tesbit edilmiştir.

Bir model dolgu malzemesi ile, genel olarak sıkışmada malzemenin davranışı, sıkışma fonksiyonu, kurulan sistemin çalışması etüd edilip, deney sistemi için kriterler getirilmiştir.

Kırılmış kumtaşı ile, ince kırılmış silttaşı ikili ve Çates külü ikili karışım serileri ile deneyler yapılarak en az sıkışan dolgu modeli araştırması yürütülmüştür.

Bir dolgu malzemesinin içerdiği ince malzeme aksamının dolğunun mekanik davranışına ve sıkışmasına etkisi açıklanmaya çalışılmıştır.

Konu ile ilgili bulunan bilimsel sonuçlar ile beraber, yeraltı kömür işletmeciliğinde pratik yararlar sağlayacak öneriler ve Zonguldak'da uygulanacak pnömatik ramble için malzeme modeli de verilmiştir.

## SUMMARY

This work describes an investigation to find an optimum filling material to be used in pneumatic stowing which will be established to reduce the subsidence in Zonguldak Collieries.

The uses of stowing in underground mining and its function in roof-control were thoroughly explained.

The mine waste (Kozlu sandstone), coal washary tailings (siltstone) and Ç.T.P.P. (Çatalağzı Thermal Power Plant) fly ashes were found to be the most suitable materials for stowing and representative samples were taken from them.

The suggested filling models were prepared from these samples in the laboratory. The procedures to be followed in crushing and sieving, as well as in determination of some properties of prepared fillings such as unit volume weight, bulk specific gravity, void volume, grain size distribution etc. were decided and processes were done accordingly.

The grain-size distribution of densest granular material was investigated.

A one-dimensional confined compression test system was developed and the subsidence of material under vertical compressive stress, and developed lateral stress, by using theory of thin walled cylinders were determined.

Some compression tests were done with a model filling mixture in order to understand the performance and reliability of developed system and the best-fitted equation of compression, the behaviour of material during compression and some experimental criteria were studied.

The binary mixture series of crushed sandstone with finely crushed siltstone and with Ç.T.P.P. fly-ashes were prepared and tested to investigate the less compressible material.

The role of fine material fraction on mechanical behaviour of granular material (filling) was tried to be explained

The scientific conclusions about subject, recommendations for mining practice, and suitable filling model for pneumatic stowing in Zonguldak were given.

## LİTERATÜR

1. Ataman T. ve diğçerleri; Zonguldak Kmr Havzası Tasman ve Yerleşim Sorunu Raporu, T.T.K.K. arşivi, Zonguldak, 1982.
2. Bıyrgan, S.; Zonguldak Havzasındaki Tasman Hareketleri ve Kentin geleceği, Türkiye 2.ci Kmr Kongresi, Zonguldak, 1982, s.251-267.
3. Rauer, G. and Voss, K.H.; Pneumatic Stowing, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1983.
4. Jacobi, O.; Der Druck auf Flz und Versatz, Glückauf, 26 Marz 1960, s. 409-419.
5. Corson, D.R.; Field Evaluation of Hydraulic Backfill Compaction at the Lucky Mine Idaho, U.S.B.M., RI 7546, 1971.
6. Arıoğlu, E.; Çimento ile Stabilize Edilen Uludağ Volfram Artık Karışımlarının Mhendislik zellikleri, Tb tak Doğa Bilim Dergisi, Mh/Çev.Cilt 7, 1983.
7. Arıoğlu, E.; Engineering properties of Cemented Aggregate Fill for Uludağ Tungsten Mine of Turkey, Proceedings of the Int. Symp. on Mining with Backfill, Lulea, 1983, pp. 3-9.
8. Arıoğlu, E.; Design Aspects of Cemented Aggregate Fill Mixes For Tungsten Stopping Operations, Mining Science and Technology, Elsevier Science Publishers, 1984, pp. 209-214.
9. Corson, D.R. and Wayment, W.R.; Load-Displacement Measurements in a Backfilled Stope of a Deep Vein Mine, U.S.B.M., RI. 7038.
10. Helms, W.; Das Verdichtungsverhalten von Waschbergen, Glückauf-Forschungshefte 44, 1983, s. 31-35.
11. Staut, K., et al; Methods and Materials for High-Modulus Fills in Underground Mines, Bureau of Mines, Washington DC, pp. 80-82.
12. Hustrulid, W. and Moreno, D.; The Support Capabilities of Fill-A Nonlinear Analysis, Conference on Application of Rock Mechanics to Cut-and-Fill Mining, Preprint University of Lulea, Vol.3, 1980, pp. 147-148.
13. Jaeger, J.C. and Cook W.G.; Fundamentals of Rock Mechanics, London, 1969.

14. Fritzche, C.H.; Lehrbuch der Bergbaukunde, Berlin, 1958.
15. Soderberg, R.L. and Corson, D.R.; Support Capabilities of Pneumatically Stowed Materials, U.S.B.M. RI 8202, 1976.
16. Birön, C. ve Arıoğlu, E.; Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı, İTÜ Yayını, İstanbul, 1980.
17. Arıoğlu, E. ve Ökten, G.; Pnömatik Ramble Uygulamasında Gelişmeler ve Pnömatik Ramblenin Teorisi, Türkiye Birinci Kömür Kongresi, TKİ Yayın, 1978, s. 499-517.
18. Ataman, T.; Kaya Mekaniğine Giriş, O.D.T.Ü Yayını Ankara, s. 184-185.
19. Ataman, T.; Yeraltı Tahkimat Esasları, O.D.T.Ü Yayını, Ankara, 1978.
20. Ataman, T.; Kömür Ayaklarında Konverjans, Seminer Notları, ODTÜ, Ankara, 1983.
21. Pariseau, W.G. ; Influence of Hydraulic Backfill on Closure and Pillar Stress in Narrow Cut and Fill Stopes, Proceedings of 15 th Symposium on Rock Mechanics, New York. 1973, pp.23-25.
22. Hendron, A.J.; The Behaviour of Sand in One-Dimensional Compression, Ph.D. Thesis, University of Illinois, University Microfilms Inc., Ann Arbor, Michigan, 1963.
23. Nicholson, D.E. and Busch, R.A.; Earth Pressure at Rest and One-Dimensional Compression in Mine Hydraulic Backfills, USBM RI 7198, 1971.
24. Lambe, T.W. and Whitman, R.V.; Soil Mechanics, John Wiley and Sons Inc., New York, 1969.
25. Jacobi, O.; Der Druck auf Flöz und Versatz, Glückauf, 26 März 1960. s. 419-428.
26. Liberman, Y.M. and Mal'kova, K.; Influence of the Compaction Pattern of Stowing Materials on Roof-to-Floor Convergence of a Coal Seam being Worked, Soviet Mining Science, 14, No.3, 1978, pp. 321-322.
27. Whetton, J. and Sinha, K.N.; Power Stowing of the Goaf- Scientific Tests and Investigation, Transactions of IME, Vol.109, 1950, pp. 534-576.



28. Keren, L. and Kainian, S.; Influence of Tailings Particles of Fill, Proceedings of the International Symposium on Mining with Backfill, Lulea, 1983 pp. 21-23.
29. Benthaus, F.; Untersuchungen über die Tragfähigkeit des Sturz Versatzes, Glückauf 100, 1964, s.19-20.
30. Coates D.F. and Yu Y.S.; Analysis of Grading Effects on Hydraulic and Consolidated Fill, CIM Transactions Volume LXXII, 1969.
31. Craig, R.F.; Soil Mechanics, New York, 1976.
32. Nash, W.A.; Theory and Problems of Strength of Materials, Schaum Publishing Co., New York, 1970.
33. ASTM; Standard Practice for Sampling Aggregates, D 75-82, Part 14-15 pp. 634-638, Annual Book 1982.
34. Kerr, P.F.; Optical Mineralogy, Mc Graw-Hill Book Company, 3<sup>th</sup> Ed.; New York, 1959.
35. ASTM; Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate, C 127-77, part 14, Annual Book 1979.
36. ASTM; Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate, C 128-77, Part 14, Annual Book 1979.
37. ASTM; Definition of Terms Relating to Density and Specific Gravity of Solids, Liquids and Gases, E 12-81, Part 14, Annual Book, 1981.
38. ASTM; Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate, C 29-78, Part 14-15, Annual Book 1979.
39. ASTM; Standard Test Method for Relative Density of Cohesionless Soils, D 2049-69, Part 19, Annual Book 1979.
40. Franklin, J.A.; Suggested Method for Determining Water Content, Porosity, Density Absorption and Related Properties, Committee on Laboratory Tests, ISRM, 1972.
41. Kezdi, A.; Handbook of Soil Mechanics-Soil Testing, Elsevier Scientific Publishing Co., New York, 1980.
42. ASTM; Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, C 136-82, Annual Book 1982.

- 43- ASTM; Test for Materials Finer than 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, C 117, Part 14, Annual Book,1980.
- 44- Gülergin, A.; Kül Analiz Raporu, Çatalağzı Termik Santrali Büro arşivi, 1970.
- 45- Ataman,T.; La tenue des Epontes d'une Taille Dynamique, en Considerant La facteur Temps, La These principe de doctorat, Faculte politechnique de de Mons, Belgique, 1964.
- 46- Kutsal, A. ve Muluk,Z.; Uygulamalı Temel İstatistik, H.Ü. Fen Fak.Basımevi, Beytepe-Ankara,1978.
- 47- Özensoy, E.; Experimental Design and Statistical Analysis in Engineering and Technical Studies, Course PET E 515, Lecture notes, METU, Ankara,1982.

EK. A. ÖZGÜL AĞIRLIK VE SU EMME TESTLERİ

Tablo A.1. Özgül Ağırlık Testi

Malzeme : Eksi 1 1/8" Kırılmış Ocak Taşı (Kımtaşı)

Tane Boyu Fraksiyonu	1 1/8" - 3/8" arası				3/8" ve 3/16" arası				3/16" altı					
	1	2	3	4	Orta- lana	1	2	3	4	Orta- lana	1	2	3	Orta- lana
Deney No	22	23	20	22		21	20	17	21		19	21	18	
Sıcaklık, C°														
Kuru Örnek Ağırlığı $W_1$ (gr.)	153,9	152,6	141,84	129,1		120,51	135,5	142,5	140,0		90,0	99,46	99,61	
Kuru Yüzeyle Doygun (KYD) Örnek Ağırlığı, $W_2$ (gr.)	156,57	155,12	144,39	131,01		122,92	138,07	145,35	142,34		92,70	102,35	102,52	
(Şişe + su) ağırlığı $W_3$ (gr)	657,8	657,8	657,8	657,8		629,2	629,2	629,2	629,2		618,1	618,1	618,1	
Şişe + Su + Örn. (KYD) ağırlığı, $W_4$ (gr.)	753,86	572,56	746,35	738,23		705,08	714,34	718,67	716,42		675,65	681,44	681,55	
Fırın kurusu Öz.Ağr.														
$W_1 / (W_2 - (W_4 - W_3))$	2,54	2,53	2,54	2,55	2,54	2,56	2,56	2,55	2,54	2,55	2,56	2,55	2,55	2,55
Doygun kuru Yüzeyle Öz. ağr. $W_2 / (W_2 - (W_4 - W_3))$	2,58	2,57	2,58	2,59	2,58	2,61	2,61	2,60	2,58	2,60	2,64	2,63	2,62	2,63
Su Emme, % $[(W_2 - W_1) / W_1] / x 100$	1,7	1,7	1,8	1,5	1,7	2,0	1,9	2,0	1,6	1,9	3,0	2,9	2,9	2,9

Tablo A.2. Özgürlük Testi

Malzeme : Eksisi 1 1/8" Kırılmış Lavuar Artığı (Siltaşı)

Tane Boyu Fraksiyonu	1 1/8" - 3/8" arası				3/8" ve 3/16" arası				3/16" altı						
	1	2	3	4	Orta- lama	1	2	3	4	Orta- lama	1	2	3	4	Orta- lama
Deney No	20	20	19	18		21	20	19	20		20	18	17	19	
Sıcaklık, T, (C°)															
Kuru örnek Ağırlığı	147,14	152,85	144,41	148,92		125,04	149,28	120,15	128,23		85,60	101,2	97,06	90,12	
Kuru Yüzeyle Doygun (KMD) örnek ağırlığı W <sub>2</sub> (gr)	150,08	155,9	147,3	151,68		127,66	152,2	122,55	131,05		88,34	104,1	99,9	99,71	
(Şişe + Sı) ağırlığı W <sub>3</sub> (gr)	657,36	657,36	657,36	657,36		629,15	629,15	629,15	629,15		625,15	625,15	625,15	625,15	
Şişe + Sı + Örn. (KMD) ağırlığı W <sub>4</sub> (gr)	750,84	754,47	748,47	751,09		708,71	724,15	705,13	710,48		680,62	690,2	687,54	683,1	
Fırın kuru Öz.Ağr. W <sub>1</sub> / [W <sub>2</sub> - (W <sub>4</sub> - W <sub>3</sub> )]	2,60	2,60	2,57	2,57	2,58	2,60	2,61	2,58	2,58	2,59	2,60	2,59	2,59	2,59	2,59
KMD Öz.Ağr. W <sub>2</sub> / [W <sub>2</sub> - (W <sub>4</sub> - W <sub>3</sub> )]	2,65	2,65	2,63	2,62	2,64	2,65	2,66	2,63	2,63	2,64	2,68	2,66	2,66	2,66	2,67
Sı Emme % [(W <sub>2</sub> - W <sub>1</sub> ) / W <sub>1</sub> ] x 100	2,0	2,0	2,2	1,8	2,0	2,1	2,0	2,0	2,2	2,1	3,2	2,9	2,9	2,9	3,0

Tablo A.3.a. Özgül Ağırlık Testi

Malzeme : Çates Külü

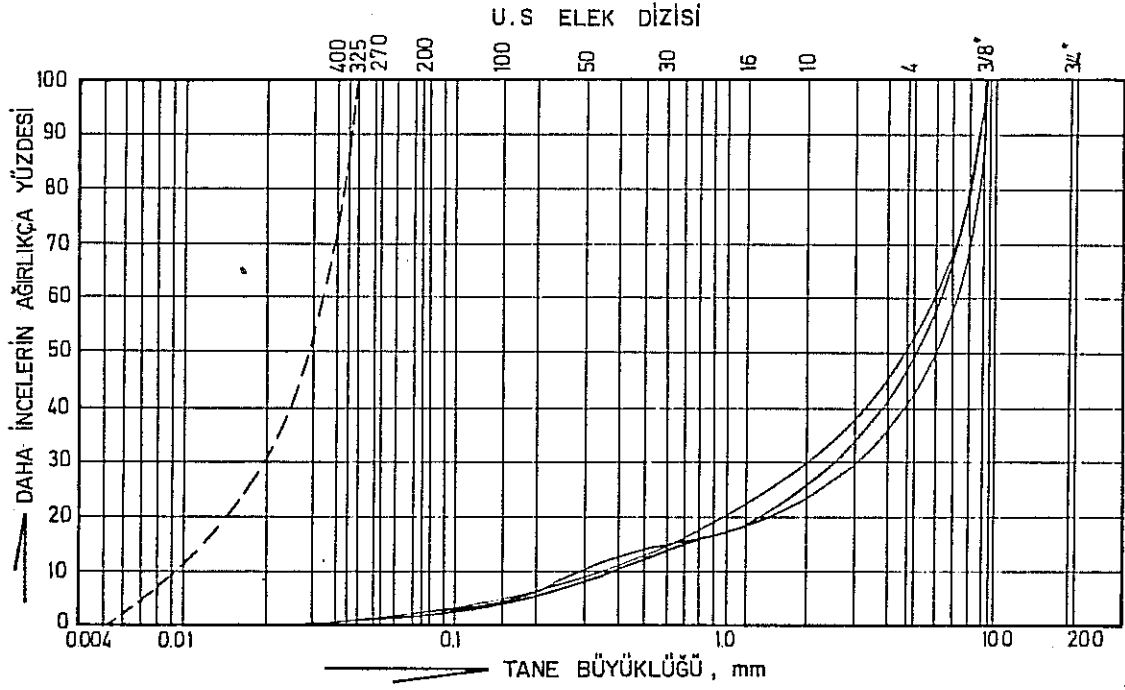
Deneý No	1	2	3	4	5	Ortalama
Sıcaklık, T (C°)	19	20	19	19	21	
Kuru Örnek Ağırlığı $W_1$ (gr)	20,76	19,56	20,43	23,02	18,84	
(Pignometre + Su) ağırlığı $W_3$ (gr)	70,74	69,91	70,21	71,12	70,05	
(Pignometre + Su + Örnek) ağırlığı, $W_4$ (gr)	80,85	79,49	80,33	82,52	79,33	
Görünür Öz.Ağırlık $W_1 / [W_1 - (W_4 - W_3)]$	1,95	1,96	1,98	1,98	1,97	1,97

Tablo A.3.b. Yaklaşık Su Emme Yüzdesi (A)

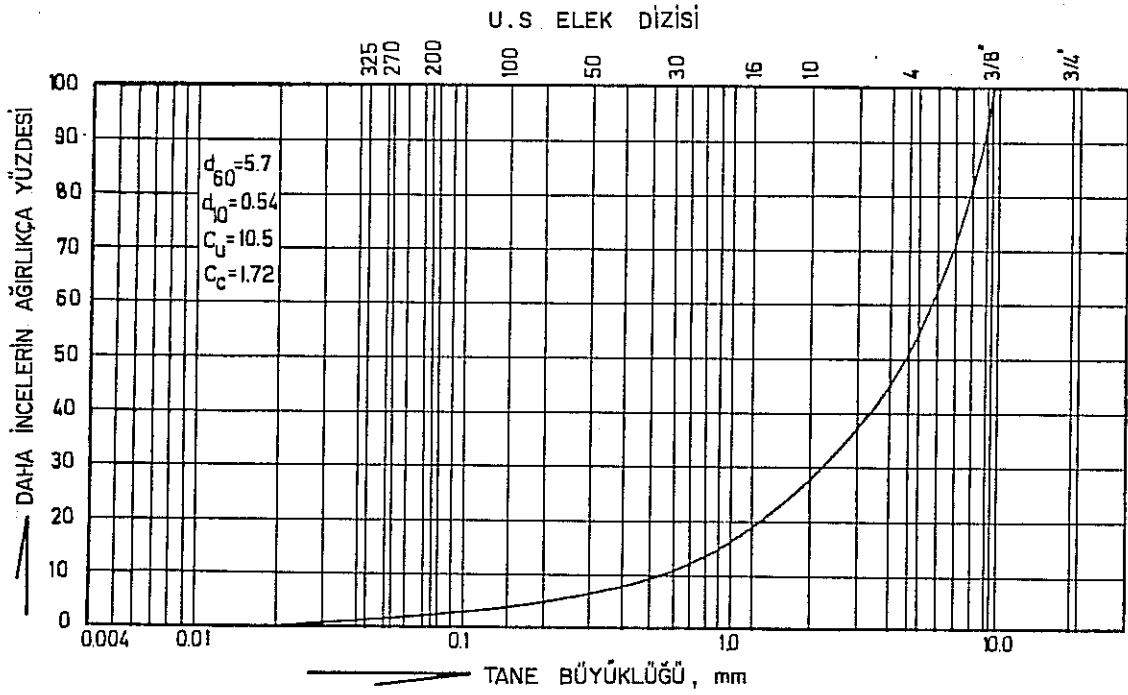
Malzeme : Çates Külü

Deneý No	1	2	3	4	Ortalama
Kritik nem içeriği, A, (%) (Özgül Koni Testi)	1,7	1,9	1,8	2,0	1,9

EK.B. DOLGU MALZEMELERİNİN TANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMLARI

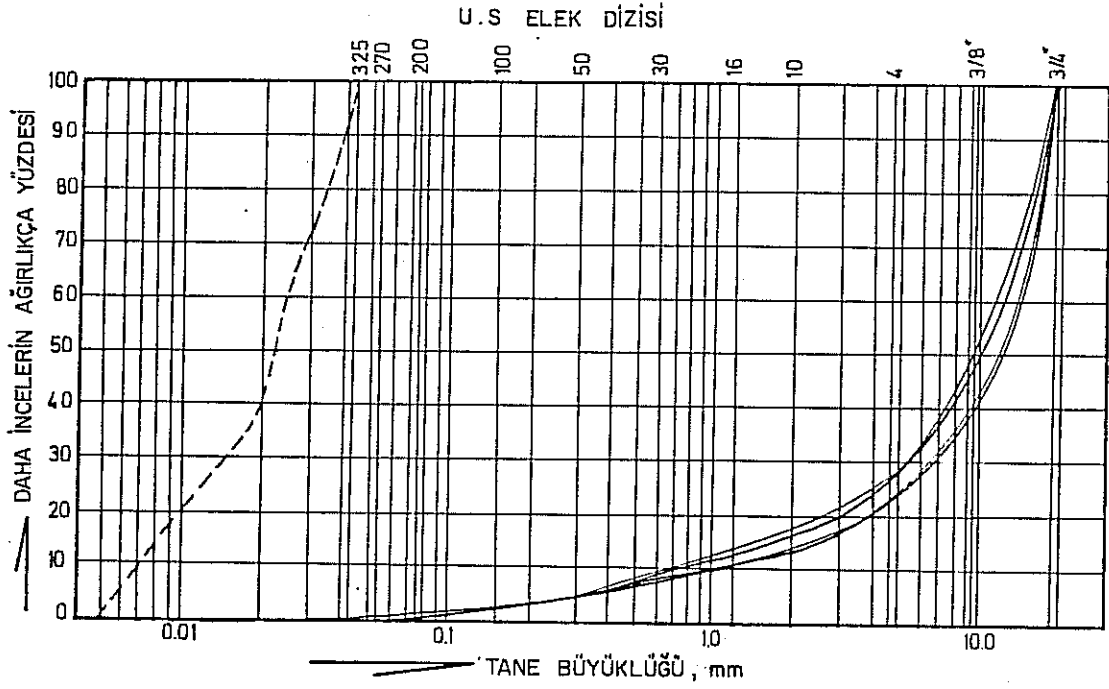


Şekil B.1. 3/8" altı kırılmış ocaktaşı (Kumtaşı) örneklerinin tane büyüklüğü dağılımları  
 --- 325 meş (43 µm altı incelerin dağılımı,



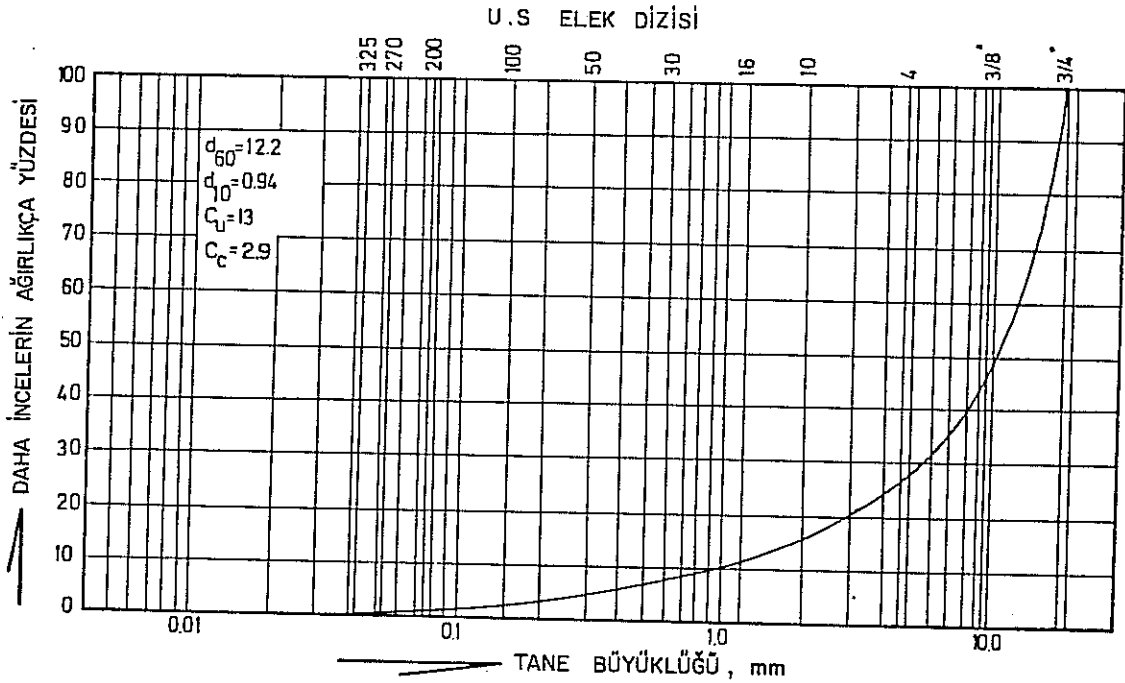
Şekil B.2. 3/8" altı kırılmış kumtaşı tane büyüklüğü dağılımı, regresyon analizi ile



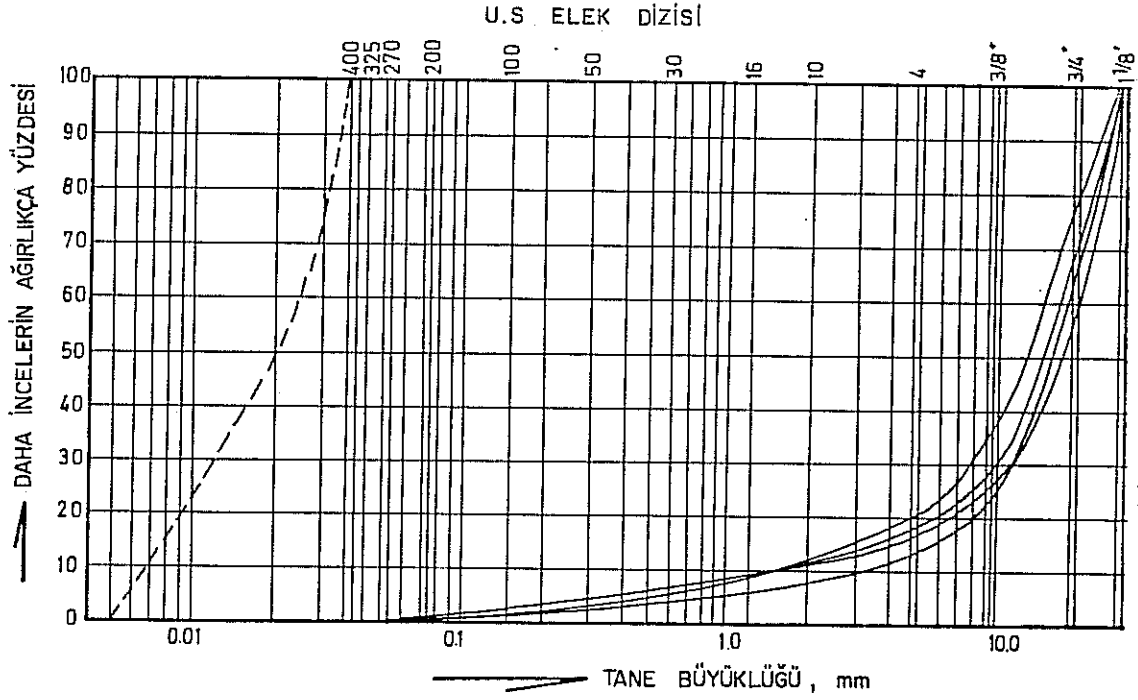


Şekil B.3. 3/4" altı kırılmış ocaktaşı örneklerinin tane büyüklüğü dağılımları.

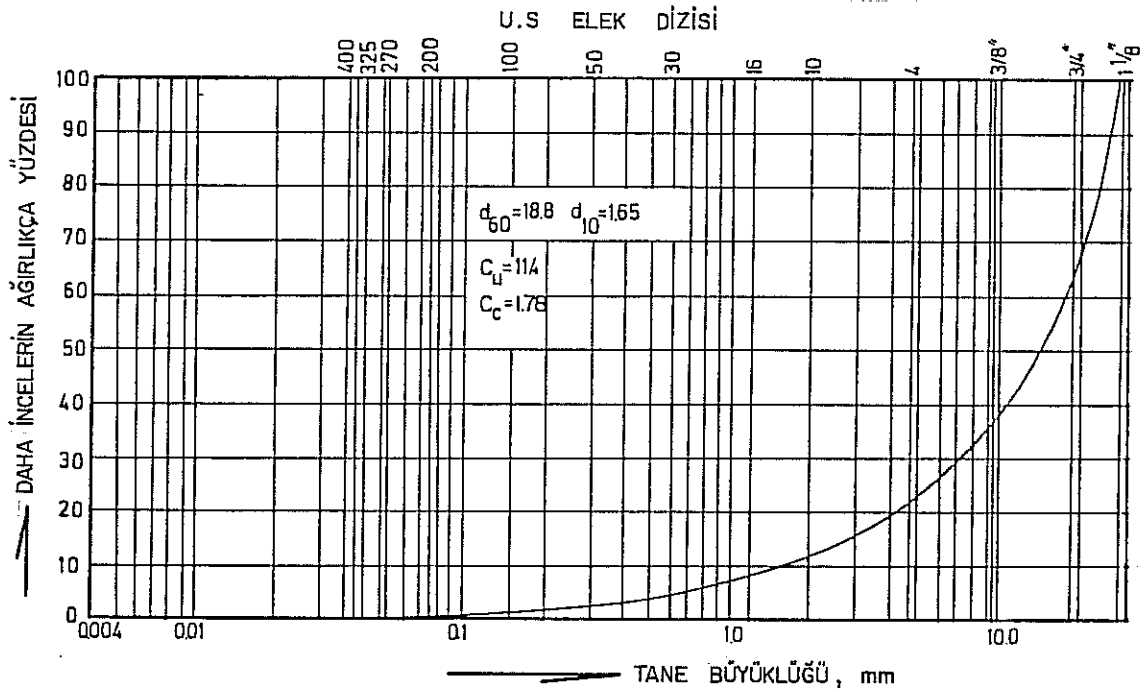
--- 325 meş (43  $\mu$ m) altı incelerin dağılımı



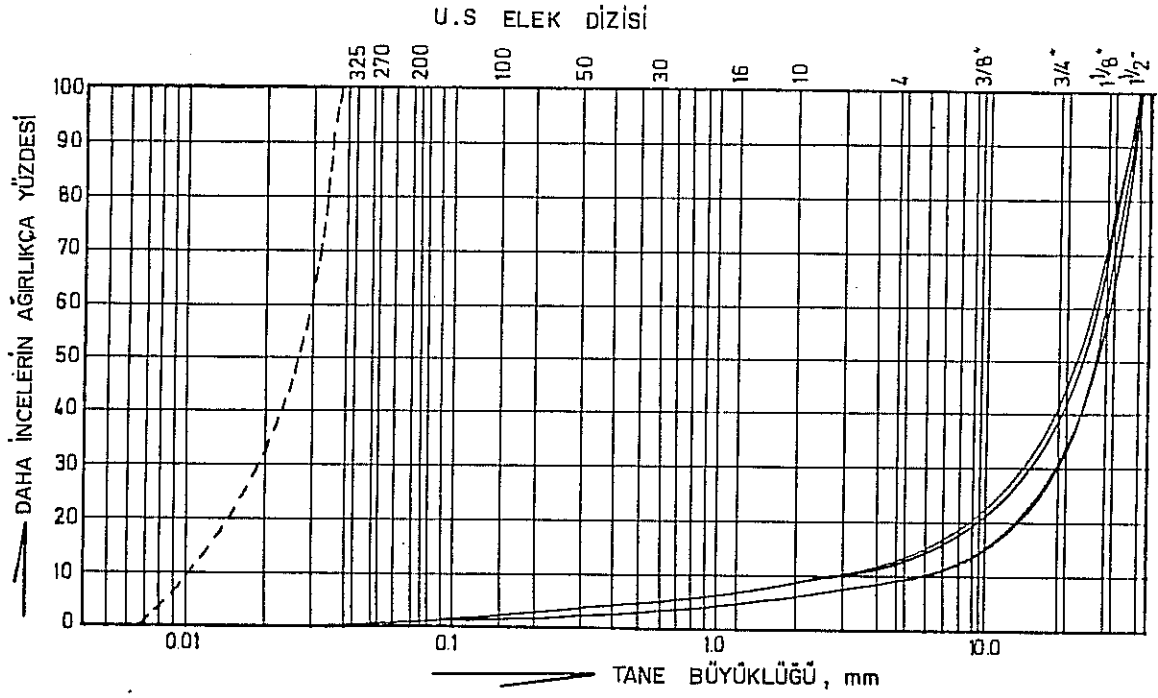
Şekil B.4. 3/4" altı kırılmış kumtaşı (ocaktaşı) tane büyüklüğü dağılımı, regresyon analizi ile.



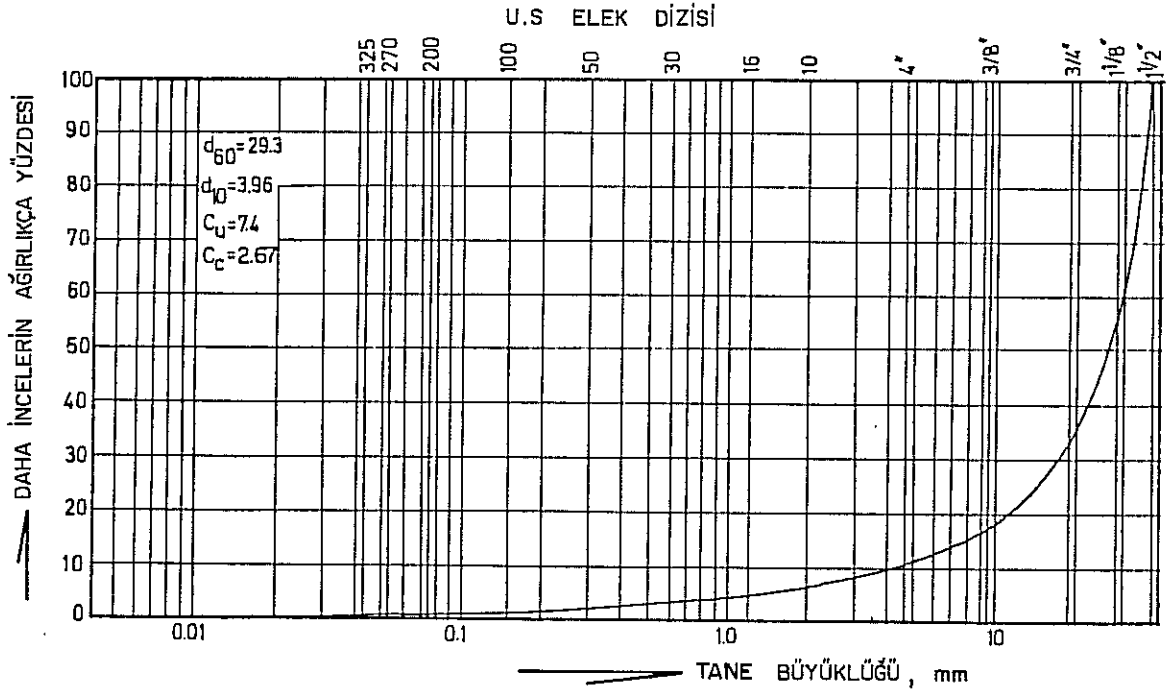
Şekil B.5. 1 1/8" altı kırılmış ocaktaşı (kumtaşı) örneklerinin tane büyüklüğü dağılımları.  
 --- 400 meş (37  $\mu$ m)altı incelerin dağılımı,



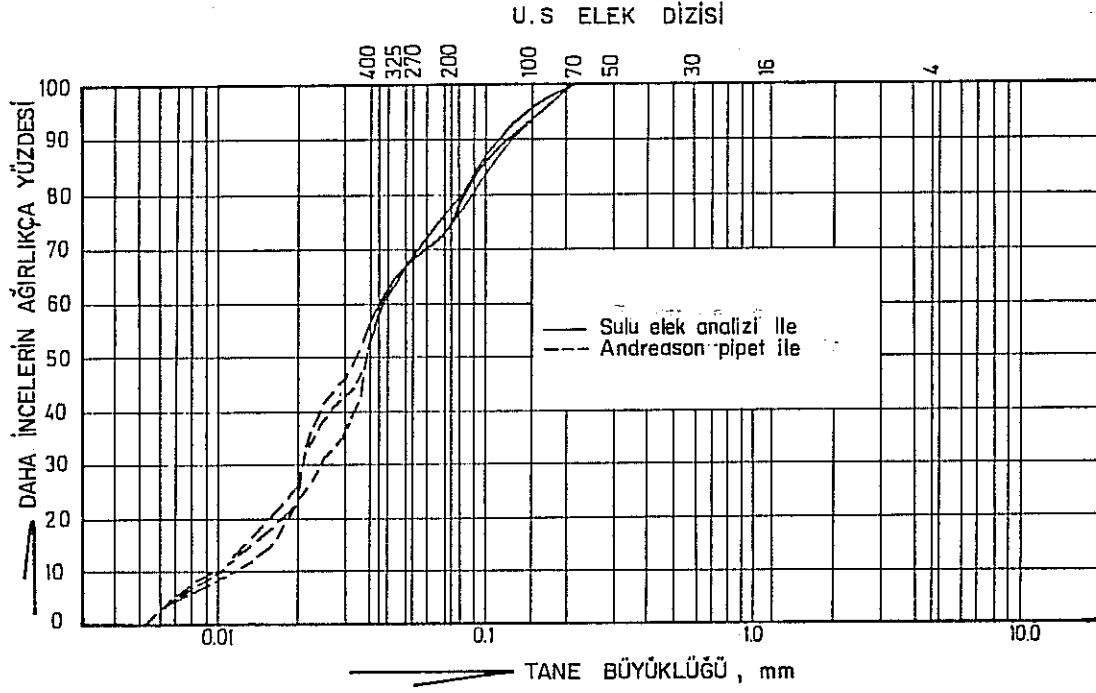
Şekil B.6. 1 1/8" altı kırılmış kumtaşı (ocaktaşı) tane büyüklüğü dağılımı, regresyon analizi ile.



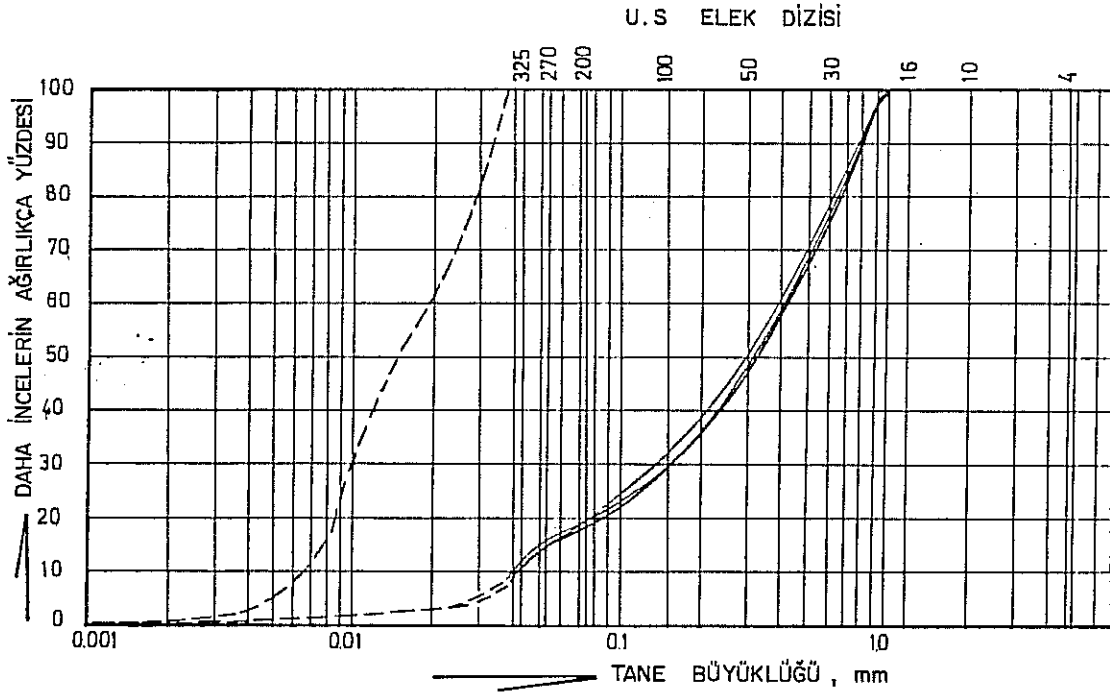
Şekil B.7. 1 1/2" altı kırılmış ocaktaşı (kumtaşı) örneklerinin tane büyüklüğü dağılımları.  
 --- 400 meş (374) altı incelerin dağılımı,



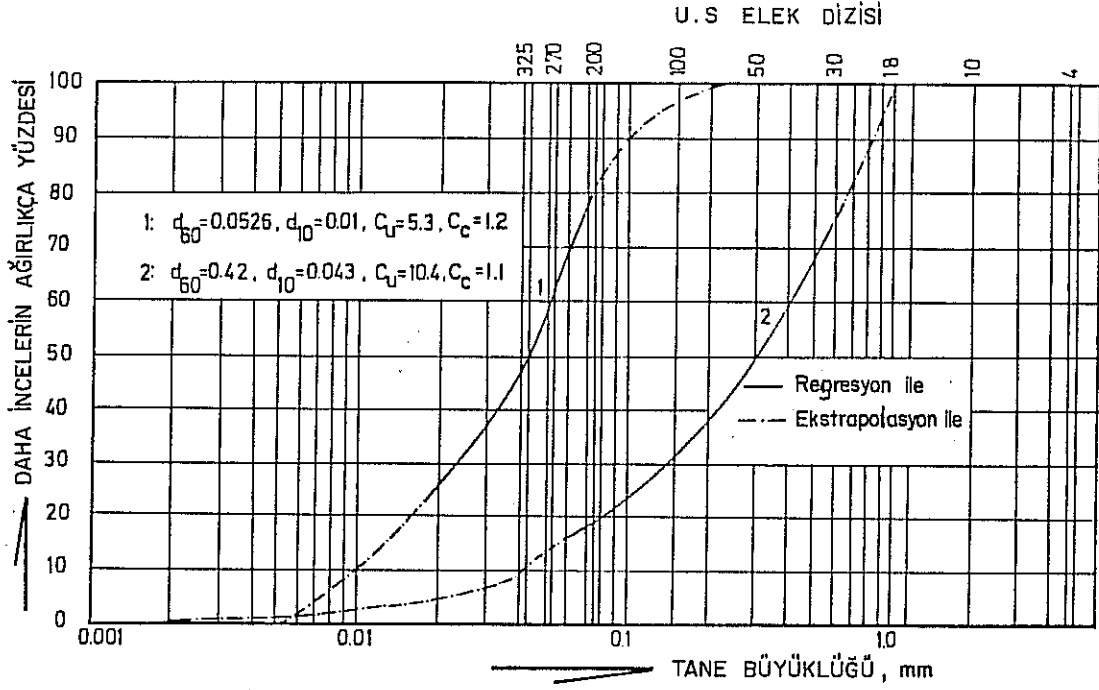
Şekil B.8. 1 1/2" altı kırılmış kumtaşının tane büyüklüğü dağılımı, regresyon analizi ile.



Şekil B.9. Çates kül numunelerinin tane boyu dağılımları.

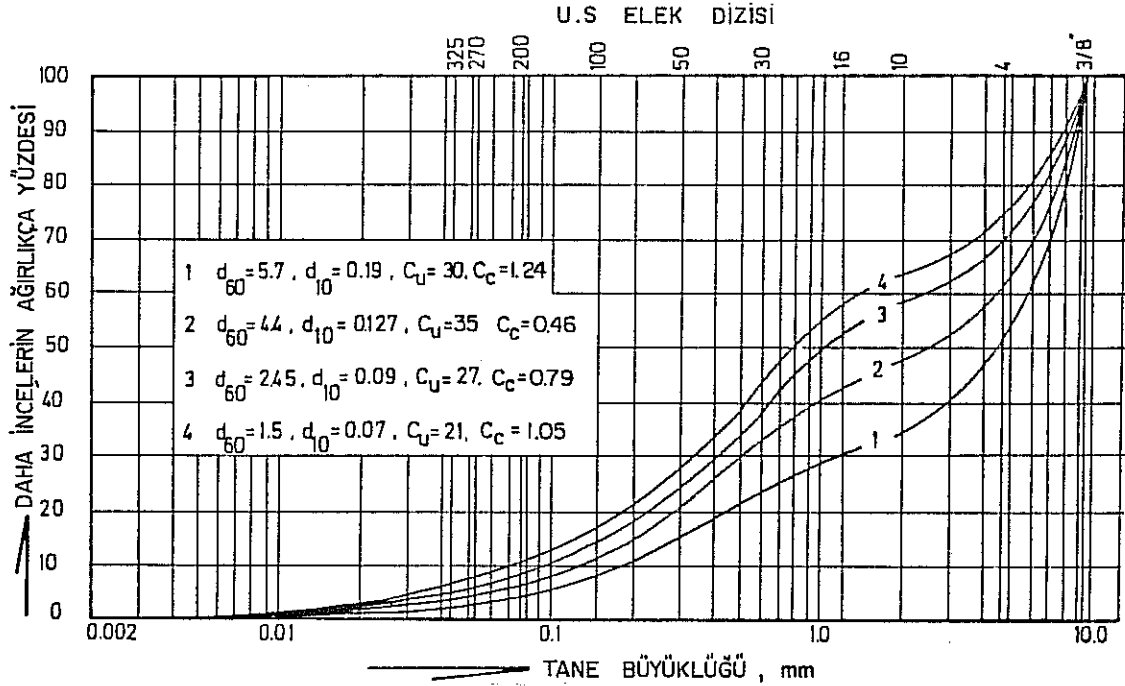


Şekil B.10. 18 meş altına kırılmış silttaş numunelerinin elek analizi ile tane boyu dağılımları. --- 400 meş altı incelerin Andreason Pipet ile tane boyu dağılımları.



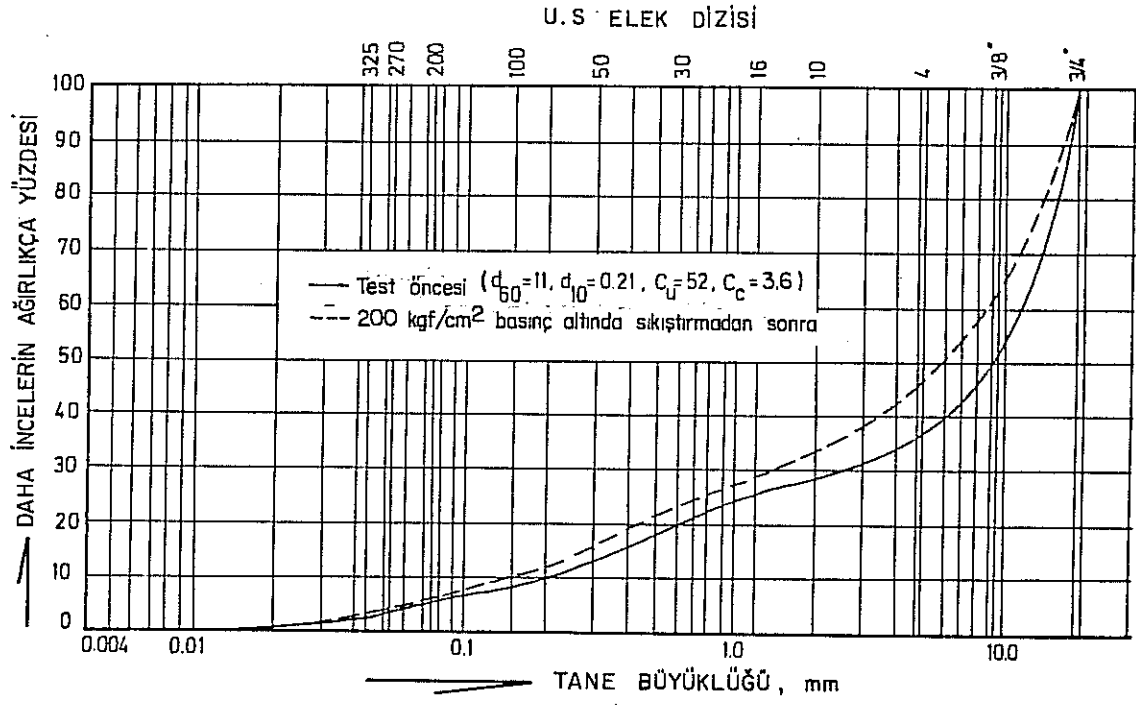
Şekil B.11. 1) Çates külünün regresyon analizi ile tane boyu dağılımı.

2) 18 meş altı ince kırılmış siltaşının regresyon yöntemi ile tane boyu dağılımı.

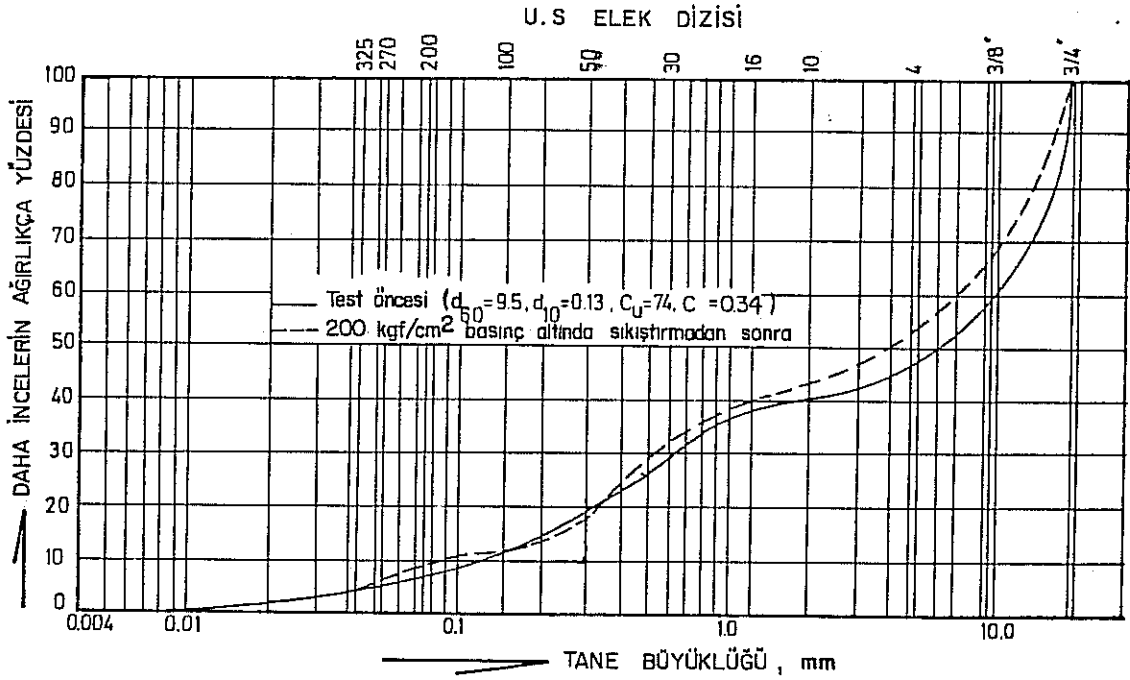


Eğri No	1	2	3	4
Ağırlıkça Karışım : Kırılmış kumtaşı (%)	85	70	60	50
İnce kırılmış siltaşı (%)	15	30	40	50

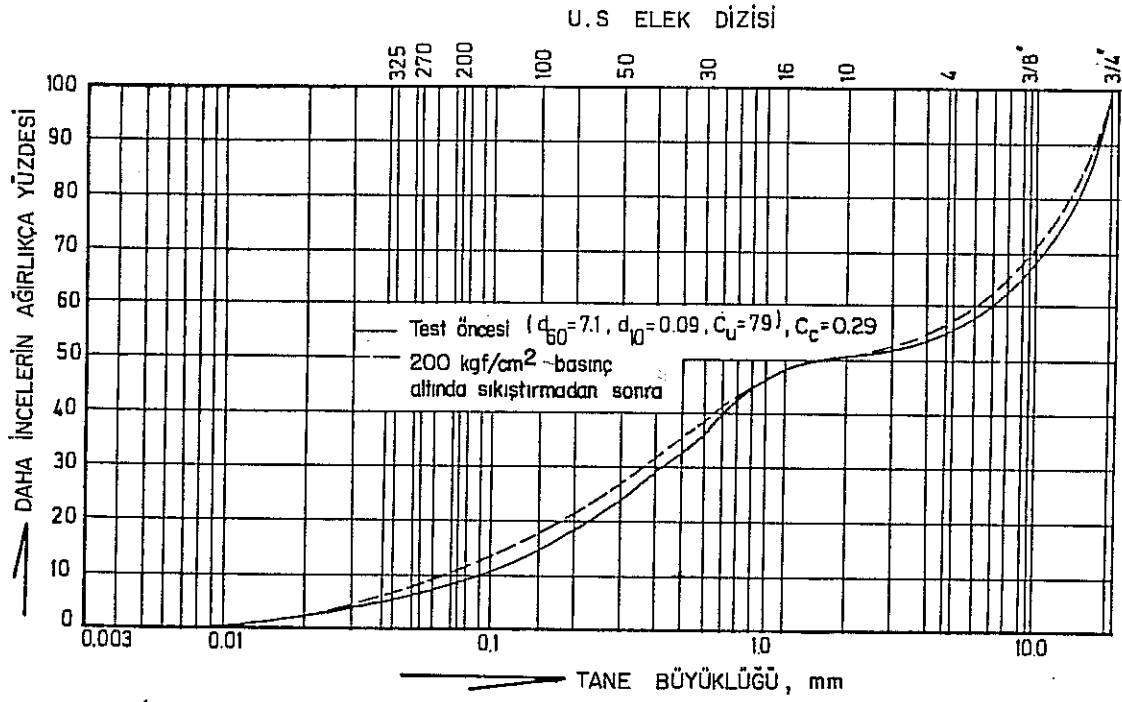
Şekil B.12. 3/8" altı kırılmış kumtaşı ve 1 mm altı ince kırılmış siltaşı (L.artığı) karışımlarının elek eğrileri.



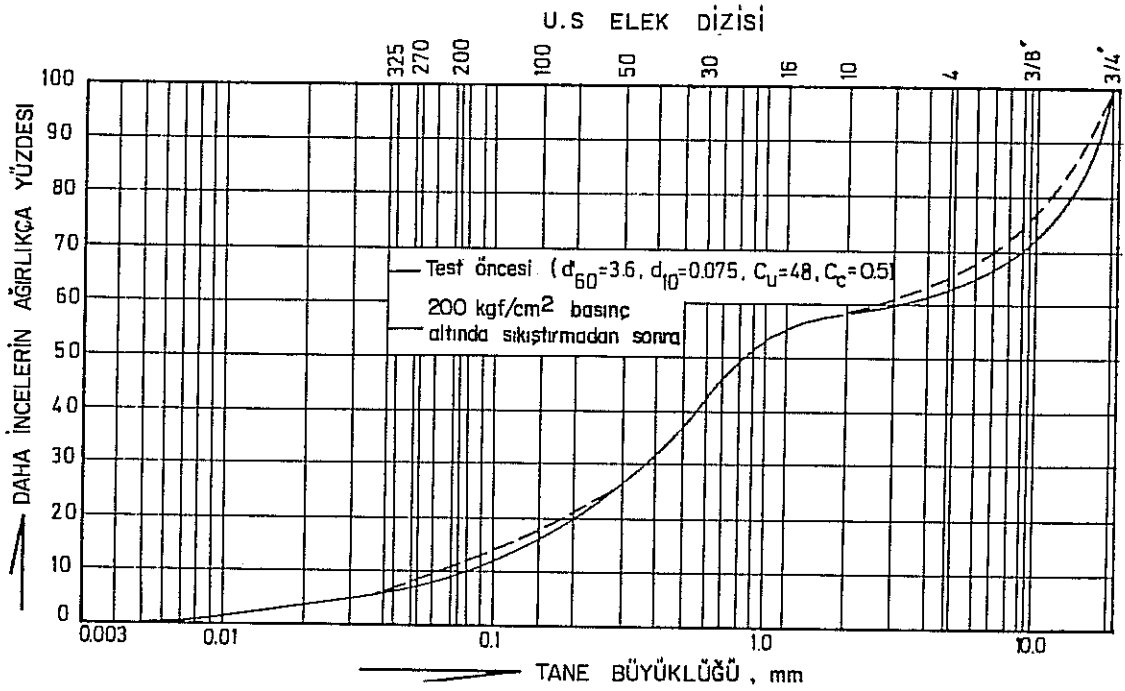
Şekil B.13. Karışım tane büyüklüğü dağılımı;  
 -3/4" kırılmış kumtaşı, 85%  
 -1 mm (18 meş altı) kırılmış silttaşı, 15%



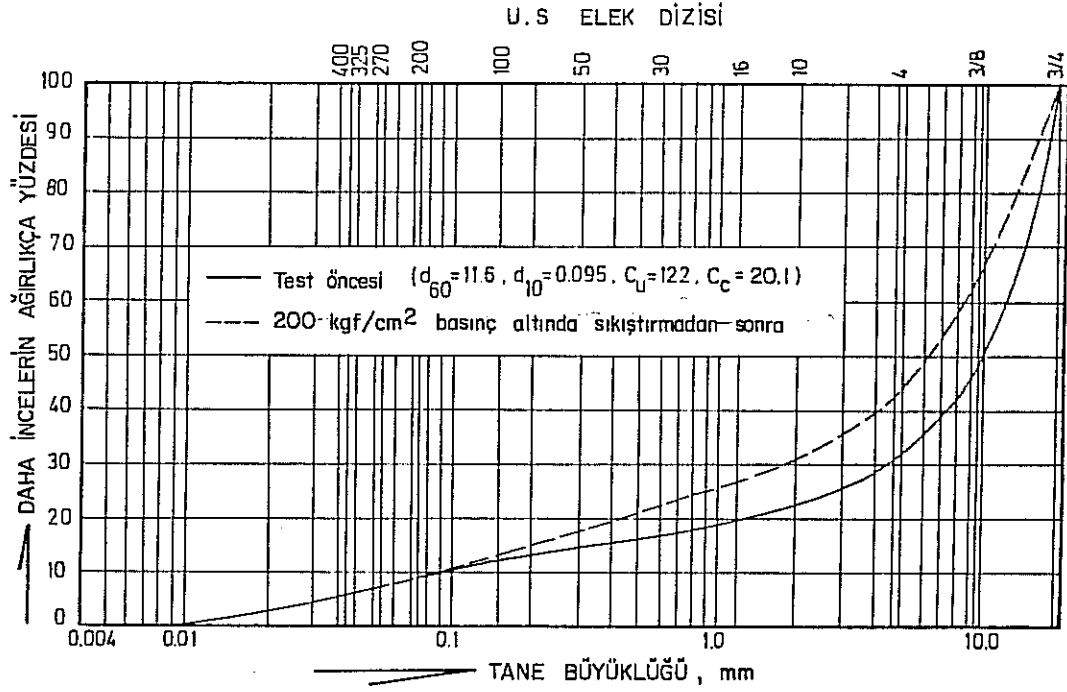
Şekil B.14. Karışım tane büyüklüğü dağılımı,  
 -3/4" kırılmış ocaktaşı, 70%  
 -1 mm. (18 meş altı) ince kırılmış silttaşı,  
 30%.



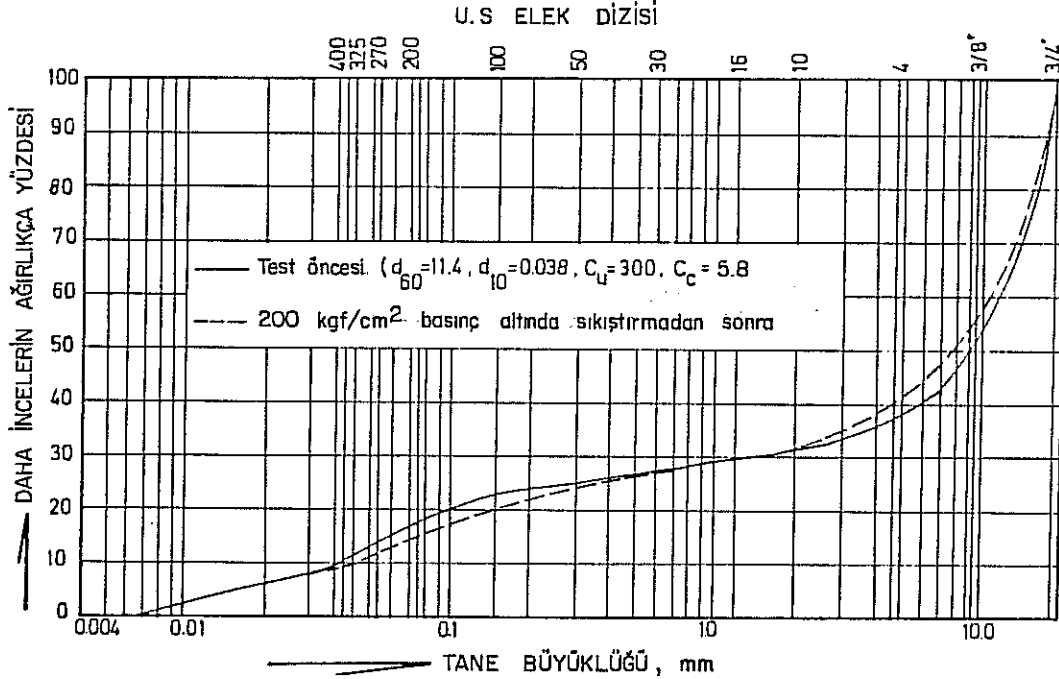
Şekil B.15. Karışım tane büyüklüğü dağılımı,  
 -3/4" kırılmış kumtaşı, 60% ağırlıkça  
 -1 mm (18 meş altı) ince kırılmış silttaşı,  
 40% ağırlıkça.



Şekil B.16. Karışım tane büyüklüğü dağılımı,  
 -3/4" kırılmış kumtaşı, 50% ağırlıkça  
 -1 mm. (18 meş altı) ince kırılmış silttaşı,  
 50% ağırlıkça.

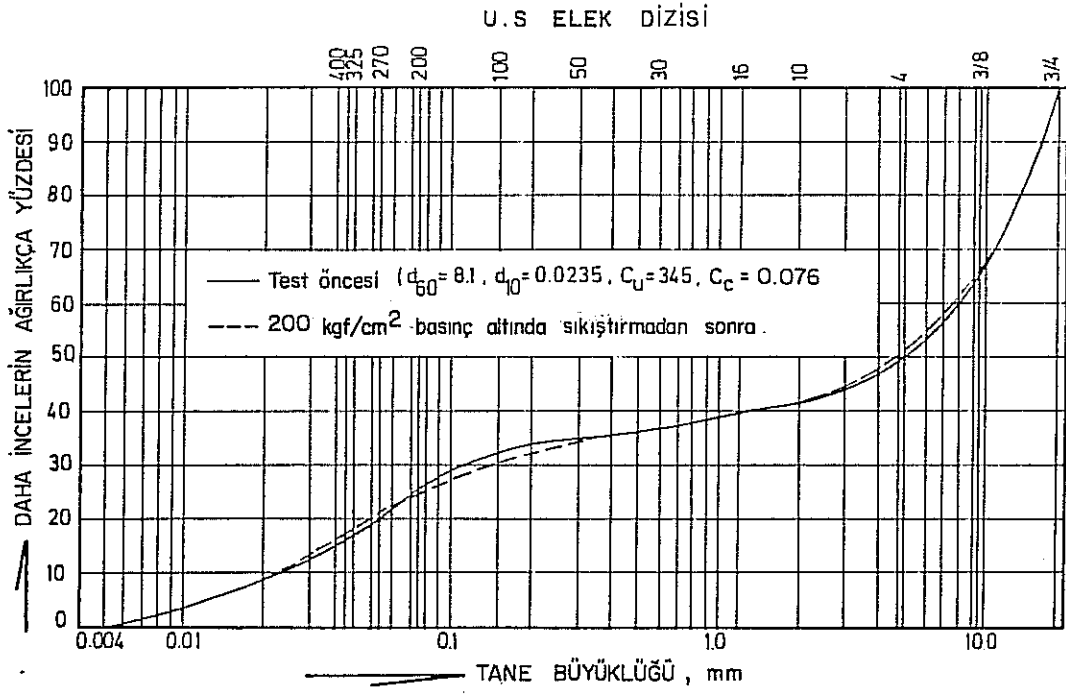


Şekil B.17. Karışım tane boyu dağılımı,  
-3/4" kırılmış Kumtaşı, 90% ağırlıkça  
Çates külü, 10 % ağırlıkça.

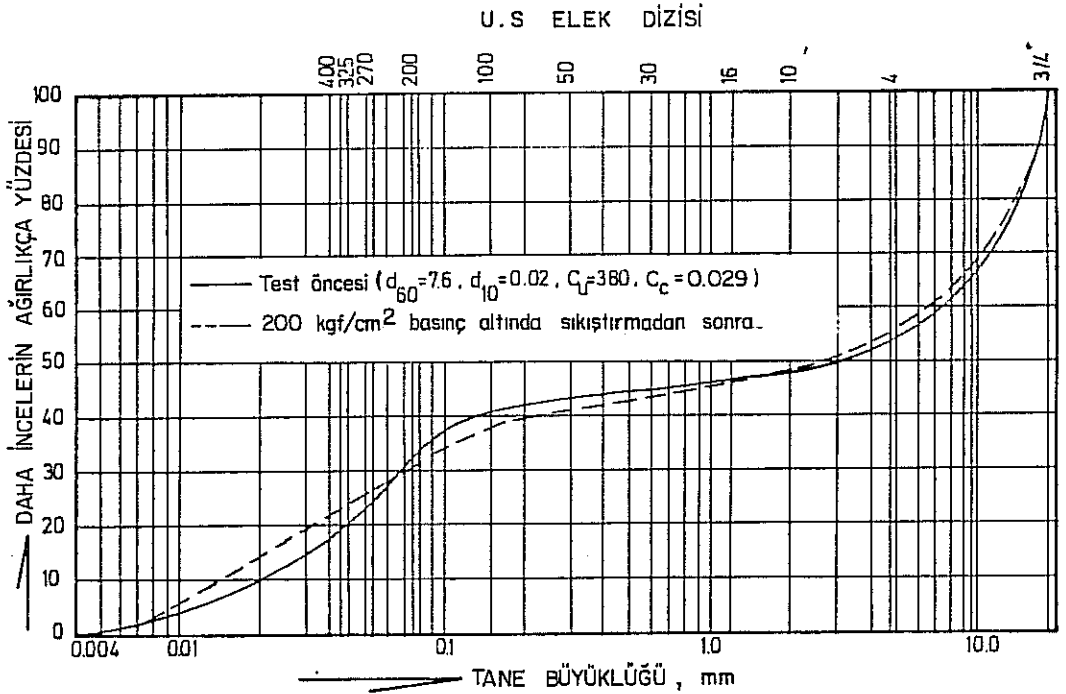


Şekil B.18. Karışım tane boyu dağılımı,  
-3/4" kırılmış kumtaşı, 80 % ağırlıkça  
Çates külü, 20 % ağırlıkça

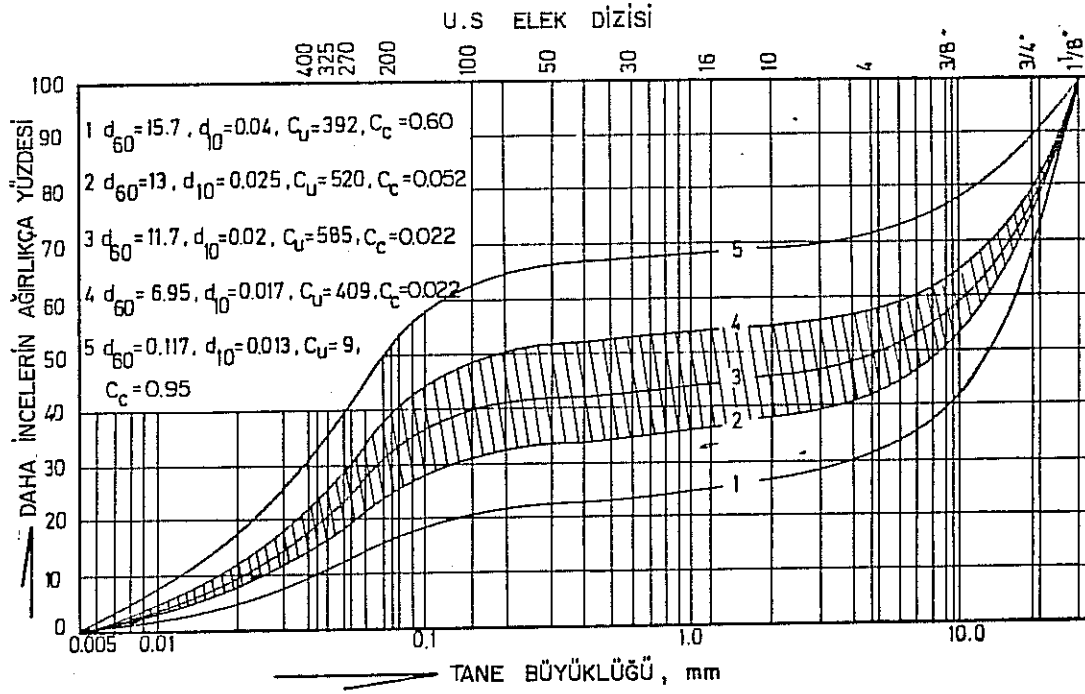




Şekil B.19. Karışım tane boyu dağılımı,  
-3/4" kırılmış kumtaşı, 70 % ağırlıkça  
Çates külü, 30 % ağırlıkça

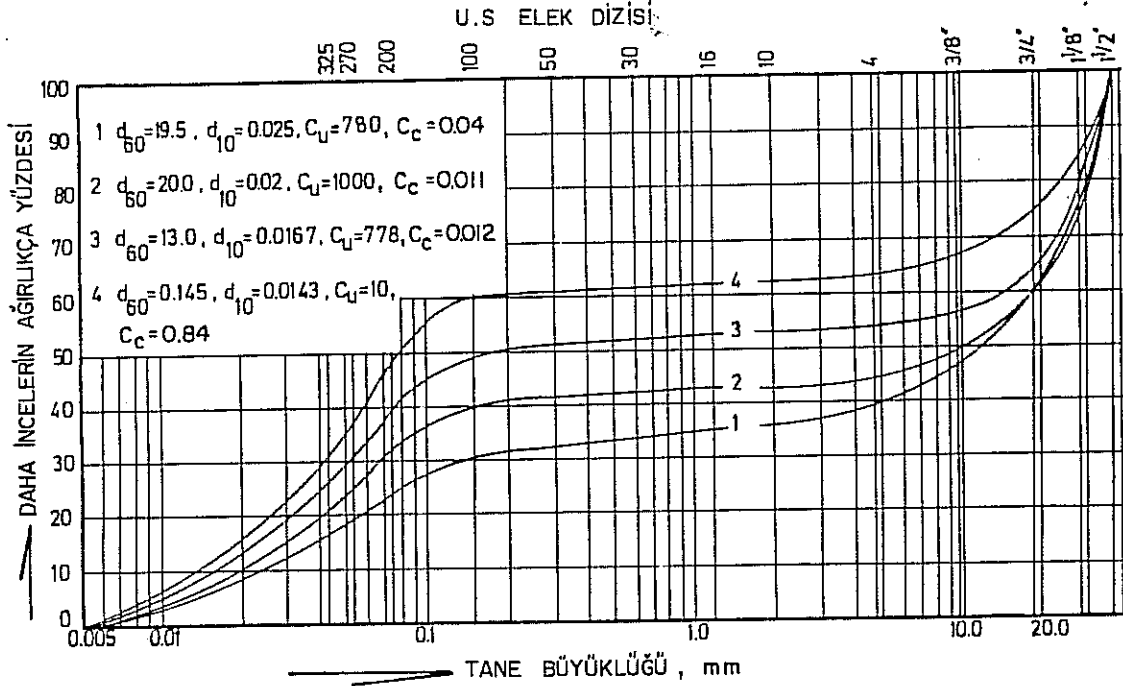


Şekil B.20. Karışım tane boyu dağılımı,  
-3/4" kırılmış kumtaşı, 60 % ağırlıkça  
Çates külü, 40 % ağırlıkça



	Karışım				
	1	2	3	4	5
Kırılmış kumtaşı, % ağırlıkça	80	70	60	50	35
Çates külü, % ağırlıkça	20	30	40	50	65

Şekil B.21. -1 1/8" kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları tane büyüklüğü dağılımları.



	Karışım			
	1	2	3	4
Kırılmış kumtaşı, % ağırlıkça	70	60	50	40
Çates külü, % ağırlıkça	30	40	50	60

Şekil B.22. -1 1/2" Kırılmış kumtaşı ve Çates külü karışımları tane büyüklüğü dağılımları.